

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

KARLO VLAŠIĆ

**PRIMJER SANACIJE STIJENSKOG POKOSA NA
PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2018.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**PRIMJER SANACIJE STIJENSKOG POKOSA NA
PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN**

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:

Karlo Vlašić, univ.bacc.ing.amb.

MENTOR:

Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivandić

VARAŽDIN, 2018.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Primjer sanacije stijenskog pokosa na pruži M604 Oštarije - Knin

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivandić.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovanoj ustanovi.

U Varaždinu, 10.09.2018.

Karlo Vlašić

(Ime i prezime)

21673093539

(OIB)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK RADA:

Ime i prezime: Karlo Vlašić

Naslov rada: Primjer sanacije stijenskog pokosa na pruzi M604 Oštarije – Knin

U ovom diplomskom radu opisano je zatečeno stanje stijenskog pokosa na dionici pruge M60 Oštarije – Knin, te je prikazan način pristupanja problemu i sanacija odrona stijena. Dionica pruge proteže se kroz stjenovito području gdje postoji mogućnost vremenski slučajnih odrona koji su dovoljno veliki da ugroze promet. U radu je opisan obuhvat zahvata koji se proteže od stacionaža 72+330 do 72+605 km. Prije projektiranja sanacijskog rješenja provedeno je geodetsko snimanje postojećeg stanja kao i istražni inženjerskogeološki, geofizički i geotehnički radovi. Dobiveni rezultati prethodnih istraživanja koriste se kao podloga pri projektiranju. Navedeni propisi i norme unutar ovog diplomskog rada koriste se također kao smjernice tokom projektiranja, ali i izvođenja.

Zbog različitih uvjeta na terenu, usjek je po dužini podijeljen na četiri segmenta. Svakom segmentu pristupa se kao zasebnoj cjelini te se odabiru tehnička rješenja zaštitnim mrežama za usmjeravanje odrona, te sustavom sidara i zaštitnih prednapregnutih mreža. Unutar diplomskog rada prikazane su metode i rezultati provedenih globalnih i lokalnih analiza stabilnosti koji se koriste pri dimenzioniranju sustava zaštite i sidrenja.

Također, u diplomskom radu opisani su tehnički uvjeti izvođenja sustava zaštite te potrebni radovi prije početka radova, tokom izvođenja i nakon završetka radova.

S obzirom na zahtijevane parametre čvrstoće mogu se koristiti sustavi različitih proizvođača. Zaštitnih sustavi europskih proizvođača Geobrugg i Maccaferri zadovoljavaju zahtijevane parametre te su ukratko opisani u ovom diplomskom radu.

Ključne riječi: Zaštitna mreža, geotehnička sidra, osiguravanje stabilnosti, stijenski pokos, Geobrugg, Maccaferri

SADRŽAJ:

1. Uvod	1
2. Obuhvat zahvata i osnove za projektiranje	3
2.1. Geodetski radovi	3
2.2. Istražni radovi i monitoring	4
2.2.1. Inženjerskogeološki radovi	4
2.2.2. Geofizički radovi	6
2.2.3. Geotehnički istražni radovi i ugradnja opreme za monitoring	7
3. Primjena propisa i normi	8
4. Tehničko rješenje	12
4.1. Osiguranje stabilnosti segmetna A – stac. km 72+370-72+420	13
4.2. Osiguranje stabilnosti segmetna B – stac. km 72+420-72+490	14
4.3. Osiguranje stabilnosti segmetna C – stac. km 72+490-72+544	16
4.4. Osiguranje stabilnosti segmetna D – stac. km 72+544-72+590	18
4.5. Uklanjanje nestabilnih stijenskih blokova	20
5. Metode i rezultati proračuna	21
5.1. Metode proračuna stabilnosti	21
5.1.1. Globalna stabilnost kosine usjeka	21
5.1.2. Lokalna stabilnost stijenskih blokova	22
5.1.3. Parametri za proračun globalne stabilnosti usjeka	23
5.1.4. Seizmika	25
5.2. Rezultati provedenih analiza stabilnosti	26
5.2.1. Strukturni blok B stac. km 72+420 – 72+490	26
5.2.2. Strukturni blok C stac. km 72+490 – 72+544	34
5.2.3. Strukturni blok D stac. km 72+544 – 72+605	36
6. Tehnički uvjeti izvođenja	41

6.1. Pripremni radovi	41
6.1.1. Plan rada	41
6.1.2. Obilazak lokacije.....	41
6.1.3. Geodetski radovi.....	42
6.1.4. Organizacija gradilišta	42
6.1.5. Osiguranje gradilišta.....	42
6.2. Prijevoz materijala	42
6.3. Ugradnja sustava za osiguranje stabilnosti pokosa.....	43
6.3.1. Osiguranje stabilnosti segmenta A zaštitnim mrežama za usmjeravanje odrona	43
6.3.2. Osiguranje stabilnosti segmenta B sistemom geotehničkih sidara i zaštitnom prednapregnutom mrežom	44
6.3.3. Osiguranje stabilnosti segmenta C zaštitnim mrežama za usmjeravanje odrona	44
6.3.4. Osiguranje stabilnosti segmenta D sistemom geotehničkih sidara i zaštitnom prednapregnutom mrežom	45
6.4. Geotehnička sidra	45
6.4.1. Zaštita od korozije	46
6.4.2. Bušenje i injektiranje.....	46
6.4.3. Testiranje sidra	47
6.5. Završni radovi.....	48
7. Proizvođači sustava zaštite	49
7.1. Geobrigg sustav zaštite.....	49
7.2. Maccaferri sustav zaštite	51
7.3. Kombinacija sustava zaštite	52
8. Zaključak	54
POPIS LITERATURE	56
POPIS SLIKA	57

POPIS TABLICA	58
POPIS PRILOGA.....	58

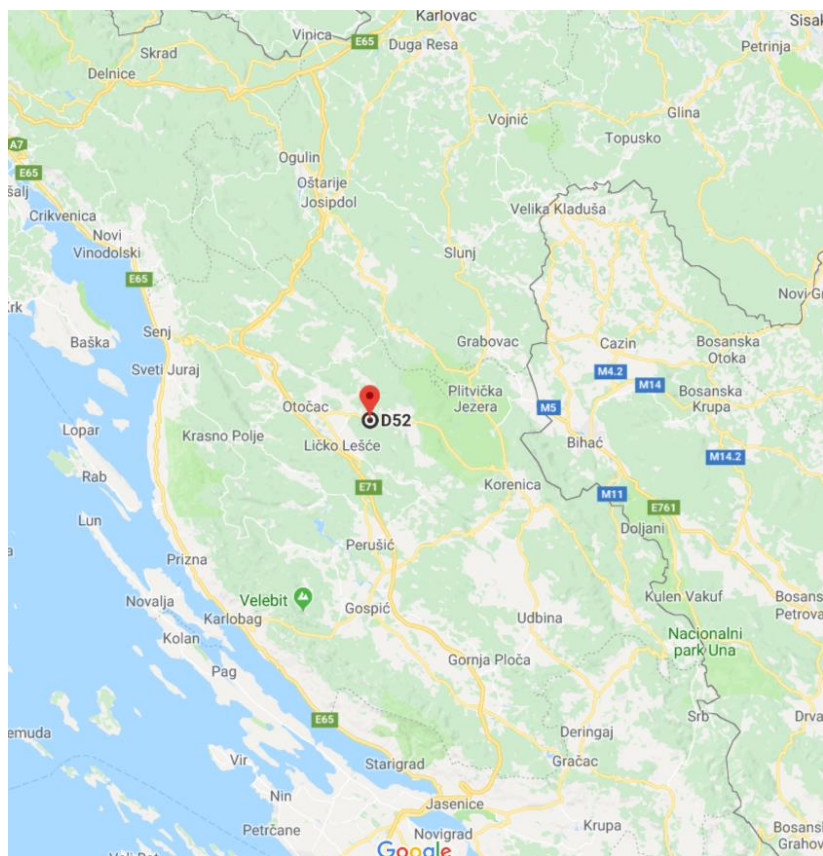
1. UVOD

Kroz područje Republike Hrvatske proteže se mreža Hrvatskih željeznica koja prolazi kroz ravničarsko područje središnje Hrvatske i Slavonije, ali i kroz brdska područja Gorskog Kotara, Like, Velebita, Dalmacije i Primorja. Svaka od tih dionica pruge značajna je za lokalno, regionalno i međunarodno gospodarstvo.

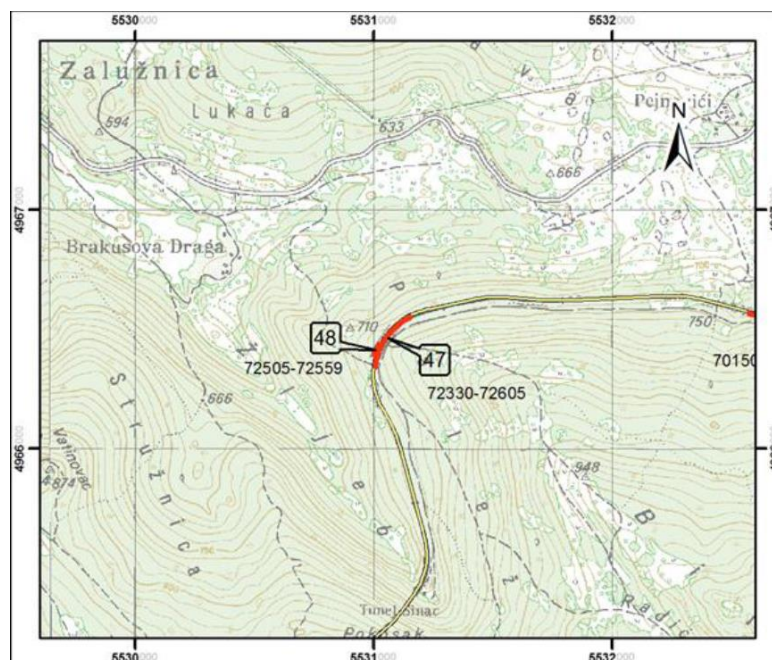
Kod održavanja cjelokupne infrastrukturne mreže Hrvatskih željeznica najveću opasnost za promet predstavljaju usjeci, zasjeci i predusjeci tunela u brdskim područjima gdje postoji mogućnost odrona stijena. Svaki potencijalni odron predstavlja prijetnju oštećenja infrastrukture, zaustavljanja prometa, ali i gubitaka ljudskih života te ga se nastoji spriječiti pod svaku cijenu.

Problem stabilnosti usjeka, zasjeka i predusjeka tunela javlja se zbog različitog sastava tla i stijena, odnosno različitog stupnja stabilnosti i istrošenosti. S vremenom pod utjecajem atmosferilija, stijenska masa postaje trošna i erodirana, diskontinuirana sa rasjedima koji su često položajno smješteni okomito na os kolosijeka što pogoduje odronu stijene.

U ovom diplomskom radu prikazat će se način pristupanja problemu i rješavanje opasnosti odrona na dionicu pruge M604 Oštarije – Knin. Pozicija predmetne dionice željeznice, u odnosu na područje Republike Hrvatske, vidljiva je na Slici 1, a detaljniji topografski prikaz lokacije vidljiv je na Slici 2.



Slika 1. Prikaz lokacije predmetne dionice pruge u odnosu na područje RH



Slika 2. Topografski prikaz dijela dionice željezničke pruge Oštarije - Knin

2. OBUHVAT ZAHVATA I OSNOVE ZA PROJEKTIRANJE

Na dionici pruge Oštarije – Knin ustanovljen je rizik od odrona stijenskih blokova i ostalog materijala na kolosijek i prateće infrastrukturne elemente pruge. Na spomenutoj dionici pruge provedeni su istražni radovi na dužini od 275 m odnosno između stacionaža 72+330 i 72+605 km radi daljnjeg projektiranja i krajnjeg uklanjanja opasnosti od odrona stijena.

2.1. GEODETSKI RADOVI

Prije projektiranja sanacijskog rješenja provode se geodetski radovi koji obuhvaćaju snimak terena te su obrađeni u digitalnom AutoCad (.dwg) formatu. Izrađena situacija u mjerilu 1:5000 obuhvaća sve površine na terenu koje je prema uputama projektanta, geomehaničara i geologa potrebno snimiti te su također određene lokacije istražnih radova (sondažne bušotine, sondažne jame i dr.). Geodetski radovi obuhvaćaju geodetski snimak pokosa (pogled na pokos) u mjerilu 1:200 i snimak usjeka i zasjeka okomitih na os pruge u mjerilu 1:100 ili 1:50 na svakih 20,0 m, a po potrebi i manje u slučaju promjene visine i geološke građe s izradom nacrtu profila. Geodetsko snimanje izvršeno je sa vezom na službene točke geodetske osnove uz vođenje računa o položaju granica zemljišta HŽ infrastrukture. Profili su prikazani u smjeru naziva i oznaka pruge, u smjeru stacioniranja, oznakom dionice, stacionažom i brojem profila, ucrtanim položajem kolosijeka sa apsolutnim visinama njegovih gornjih rubova i karakterističnim točkama postojećeg terena. Na snimkama prikazani su svi podzemni i nadzemni vodovi, elementi pruge i pružne opreme i ostale građevine (nadvožnjaci, mostovi, kanalice za odvodnju i sl.).

2.2. ISTRAŽNI RADOVI I MONITORING

2.2.1. Inženjerskogeološki radovi

Izvršeni inženjerskogeološki radovi obuhvaćaju uvid u osnovnu geološku kartu tog područja, upoznavanje s hidrogeološkom situacijom šireg područja, pregled površine terena s naglaskom na dijelove i pojave koje imaju utjecaj na pojavu nestabilnosti stijena.

Provodi se detaljno inženjerskogeološko kartiranje sa svrhom utvrđivanja vrste stijena i diskontinuiteta (pukotina, rasjeda i dr.) unutar stijene i u svrhu utvrđivanja vrste i svojstava tla. Dobivaju se podaci o litološkoj građi, geološkim strukturama, morfološkim i hidrogeološkim pojavama, fizičko-mehaničkim svojstvima tla i stijena te aktivnim geomorfološkim pojavama [1]. Također uz inženjerskogeološko kartiranje, provodi se i detaljno hidrogeološko kartiranje u mjerilu 1:5000 koje daje podatke vezane uz vodu u stijeni i tlu, odnosno postojane vodonepropusnih zona, nivo podzemne vode, fizičke i kemijske karakteristike podzemne vode i dr. [2]

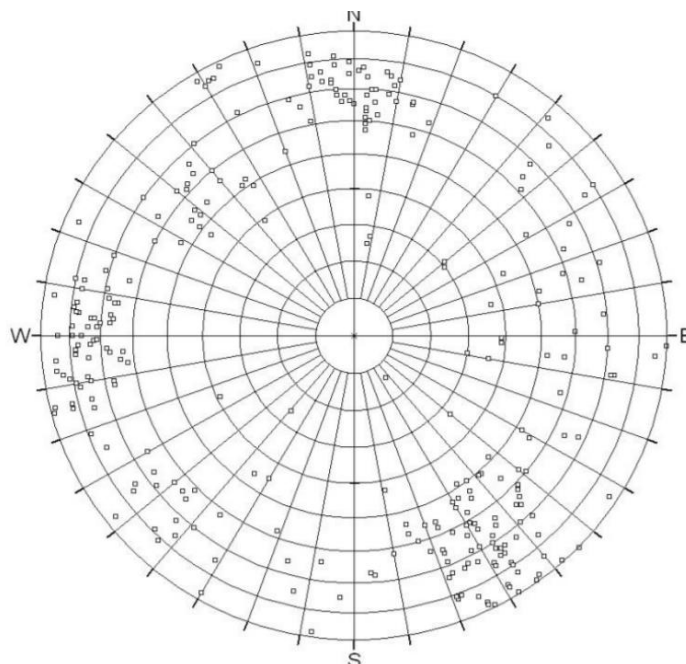
Za svaku strukturnu zonu (geotehničke jedinice) čije su karakteristike uniformne, odnosno mogu se takvima smatrati, određuju se slijedeće karakteristike:

- naziv stijene s geološkim opisom,
- strukturne karakteristike stijenske mase: debljina sloja i razmak diskontinuiteta,
- mehaničke karakteristike, jednoosna tlačna čvrstoća stijenskog materijala i kut trenja diskontinuiteta (promatranje hrapavosti pukotinskih površina i osobine ispune)

Posebnu pozornost potrebno je obratiti na diskontinuitete u stijeni jer oni u velikoj mjeri utječu na mehaničko ponašanje stijenske mase u vidu krutosti i čvrstoće, stoga ih je potrebno detaljno opisati i kvantificirati parametre opisivanja kako bi ih se moglo koristiti u analizama stabilnosti [3].

Za svaku geotehničku jedinicu određivana je orijentacija (pravac pada i pad), razmak, postojanost, otvorenost (zijev), hrapavost, čvrstoća zida, ispuna, filtracija, broj familija diskontinuiteta i veličina bloka unutar stijenske mase.

Familije diskontinuiteta potrebno je za svaku geotehničku jedinicu prikazati u Schmidtovom konturnom dijagramu, Slika 3.



Slika 3. Primjer Schmidtovog konturnog dijagrama

Ovakav dijagram pruža projektantu neophodne informacije o relevantnim geometrijskim i mehaničkim osobinama stijenske mase, odnosno diskontinuitetima, pukotinama i lomovima.

Unutar inženjerskogeološkog kartiranja potrebno je procijeniti čvrstoće stijenskih materijala na temelju terenske indeksne klasifikacije korištenjem Schmidtovog čekića prema preporukama ISRM-a (Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in rock masses). Ispitivanje Schmidtovim čekićem indirektna je, odnosno indeksna metoda kojom se primjenom korelacija procjenjuju vrijednosti mehaničkih značajki stijena, u ovom slučaju jednoosna tlačna čvrstoća [4].

Osim navedenih karakteristika stijenske mase potrebno je za svaku geotehničku jedinicu odrediti i geološki indeks čvrstoće (GSI). Geološki indeks čvrstoće je pojednostavljeni sustav klasifikacije kojim se određuje čvrstoća stijenske mase, a zasniva se na procjeni vrijednosti GSI prema značajkama intaktne stijene, strukture stijenske mase, uvjetima površine stjenki diskontinuiteta i uvjeta koji

proizlaze iz geometrije intaktnih dijelova stijene i njihovog ponašanja prilikom promjene stanja naprezanja u stijenskoj masi [5].

Za usjeke u tlu također je potrebno utvrditi sastav tla po dubini i duž usjeka/zasjeka. Izrađuje se detaljna inženjerskogeološka i hidrogeološka karta, pregled usjeka/zasjeka i potrebni poprečni profili te se uzimaju uzorci karakterističnih materijala potrebnih za laboratorijska ispitivanja.

Pomoću dobivenih podataka inženjerskogeološkim kartiranjem omogućeno je definiranje parametara čvrstoće koji se koriste u analizama stabilnosti za lom kroz stijensku masu i lom po pukotinama, odnosno diskontinuitetima.

2.2.2. Geofizički radovi

Provedena mjerenja obuhvaćaju geofizička mjerenja na terenu uz upute geofizičara, obradu rezultata, kao i izradu geofizičkih profila. Tehnike mjerenja korištene tokom provedbe geofizičkih radova mogu biti: površinske seizmičke refrakcije, geoelektrične tomografije LIS metodom i georadarskim profiliranjem. Ovisno o uvjetima na terenu određuje se, u dogovoru geotehničara i geofizičara, koja je mjerenja potrebno provesti i/ili kombinirati za dobivanje potrebnih podataka.

Tokom istražnih radova u ovom slučaju korišteno je geofizičko profiliranje plitkom refrakcijskom seizmikom koja se vrlo često primjenjuje za terenske istražne radove. Posebno plitka refrakcija pogodna je za istraživanja do više desetaka metara u geotehnici, hidrogeologiji, inženjerskoj geologiji i istraživanju mineralnih sirovina. Pogodna je za dobivanje podataka o debljinama slojeva tla i stijena, kao i pukotinskim i rasjednim zonama [6].

Geofizičke radove nastoji se izvoditi izvan slobodnog profila pruge, a radovi unutar pojasa pruge i u slobodnom profilu pruge potrebno je izvršiti uz pridržavanje posebnog režima rada.

2.2.3. Geotehnički istražni radovi i ugradnja opreme za monitoring

U sklopu geotehničkih istražnih radova izrađuje se geotehnički elaborat. Istražno bušenje i ugradnja sustava za monitoring izvode se prema potrebi u svrhu izrade idejnog i izvedbenog projekta. Nakon ophodnje i pregleda lokacije, izvođač radova odlučuje da li ima potrebe za ugradnjom opreme za monitoring i izvođenjem istražnog bušenja. Istražno bušenje, ukoliko se izvodi, obuhvaća pripremne radove, generalni transport bušaće garniture na teren, lokalni međutransport između bušotina, izradu platoa za bušenje te samo bušenje i krajnji odvoz garniture sa terena.

3. PRIMJENA PROPISA I NORMI

Tokom projektiranja i izvođenja radova generalno, pa tako i kod sanacije stijenskog pokosa na predmetnoj dionici željezničke pruge Oštarije – Knin potrebno je pridržavati se određenih zakona, pravilnika, propisa i norma. Oni daju upute, pravila ili značajke za djelatnosti ili njihove rezultate radi postizanja najboljeg stupnja kvalitete, sigurnosti i uređenosti.

Svi zakoni, pravilnici, propisi i norme uvaženi tokom projektiranja i izvođenja prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Zakoni, Pravilnici, Propisi i Norme uvaženi tokom projektiranja i izvođenja

A	Zakoni: Opći		broj
1	Zakon o prostornom uređenju	NN	153/13
2	Zakon o gradnji	NN	153/13
3	Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina	NN	16/07, 124/10
4	Zakon o građevinskim proizvodima	NN	76/13, 30/14
A	Pravilnici: Opći		
1	Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama	NN	79/14, 41/15
2	Pravilnik o nadzoru građevinskih proizvoda	NN	75/15, 113/08
B	Zakoni: Zaštita okoliša		
1	Zakon o zaštiti okoliša	NN	80/13, 78/15
2	Zakon o vodama	NN	153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14
3	Zakon o održivom gospodarenju otpadom	NN	94/13
4	Zakon o zaštiti prirode	NN	80/13

5	Zakon o zaštiti okoliša	NN	130/11, 47/14
B	Pravilnici: Zaštita okoliša		
1	Pravilnik o gospodarenju građevinskim otpadom	NN	38/08
C	Zakoni: Zaštita na radu		
1	Zakon o zaštiti na radu	NN	71/14
2	Zakon o zaštiti od buke	NN	118/14, 154/14
C	Pravilnici: Zaštita na radu		
1	Pravilnik o zaštiti na radu na privremenom ili pokretnim gradilištima	NN	51/08
2	Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom	NN	88/12
3	Pravilnik o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta	NN	42/05
4	Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave	NN	145/04, 46/08
D	Zakon: Zaštita od požara		
1	Zakon o zapaljivim tekućinama i plinovima	NN	108/95, 56/10
2	Zakon o zaštiti od požara	NN	92/10
3	Zakon o vatrogastvu	NN	106/95, 117/01, 36/02, 96/03, 139/04, 174/04, 38/09, 80/10
D	Pravilnici: Zaštita od požara		
1	Pravilnik o uvjetima za vatrogasne pristupe	NN	35/94, 55/94, 142/03
2	Pravilnik o razvrstavanju građevina u skupine po zahtjevnosti mjera zaštite od požara	NN	56/12, 61/12
3	Pravilnik o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja	NN	146/05
4	Pravilnik o tehničkom nadzoru električnih postrojenja, instalacija i uređaja namijenjenih za rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom	NN	39/06, 106/07

5	Pravilnik o tehničkim i drugim uvjetima koje moraju ispunjavati pravne osobe ovlaštene za ocjenu ispravnosti i podobnosti proizvoda za zaštitu od požara	NN	119/11
E	Tehnički propisi		
1	Tehnički propisi za betonske konstrukcije	NN	139/09, 14/10, 125/10, 136/12
F	Norme za projektiranje i proračun		
1	Eurokod: Osnove za projektiranje konstrukcije	HRN EN	1990:2011
2	Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak	HRN EN	1990:2011/ NA:2011
3	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1 Opća djelovanja – Prostorne težine, vlastita težina i uporaba opterećenja na zgrade	HRN EN	1991-1- 1:2008
4	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3 : Opća djelovanja – Opterećenje snijegom	HRN EN	1991-1- 3:2008
5	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4 : Opća djelovanja – Djelovanje vjetra	HRN EN	1991-1- 4:2008
6	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-5 : Opća djelovanja – Toplinska djelovanja	HRN EN	1991-1- 5:2008
7	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-6 : Opća djelovanja – Djelovanja tokom izvedbe	HRN EN	1991-1- 6:2008
8	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-7 : Opća djelovanja – Izvanredna djelovanja	HRN EN	1991-1- 7:2008
9	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 3. dio: Djelovanja prouzročena kranovima i strojevima	HRN EN	1991- 3:2008
10	Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 4. dio: Silosi i spremnici tekućina	HRN EN	1991- 4:2008
11	Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio : - Opća pravila	HRN EN	1997- 1:2012
12	Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio : - Opća pravila – Nacionalni dodatak	HRN EN	1997- 1:2012/ NA:2012
13	Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 2. dio : - Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla	HRN EN	1997- 2:2012
14	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade	HRN EN	1998- 1:2011

15	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak	HRN EN	1998-1:2011/ NA:2011
16	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 4. dio: - Silosi, spremnici i cjevovodi	HRN EN	1998-4:2011
17	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 4. dio: - Silosi, spremnici i cjevovodi – Nacionalni dodatak	HRN EN	1998-4:2011/ NA:2011
18	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 5. dio: - Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja	HRN EN	1998-5:2011
19	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 5. dio: - Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja – Nacionalni dodatak	HRN EN	1998-5:2011/ NA:2011
20	Izvedba posebnih geotehničkih radova – Ground Anchors	HRN EN	1537:2013
G	Norme za materijale		
	Cement		
1	Vodič za primjenu EN 197-2 >Vrednovanje sukladnosti<	HRN CR	14245:2004
2	Cement – 1. dio: Sustav, specifikacije i kriteriji sukladnosti cementa za opće namjene (uključuje amandman A1:2004)	HRN EN	197-1:2005
3	Cement – 2. dio: Vrednovanje sukladnosti	HRN EN	197-2:2004
	Voda za beton		
1	Voda za pripremu betona – Specifikacije za upozorenje, ispitivanje i potvrđivanje prikladnosti vode, uključujući vodu za pranje iz instalacije za otpadnu vodu u industriji betona kao vodu za pripremu betona	HRN EN	1008:2002

4. TEHNIČKO RJEŠENJE

Tehničko rješenje sanacije, lijeve strane usjeka na dionici željezničke pruge Oštarije – Knin između stacionaže 72+300 km i 72+605 km, odabire se uzimajući u obzir:

- uvjete na lokaciji,
- sastav i karakteristike tla/stijene,
- tip, karakter i trajanje opterećenja,
- zahtjeve Investitora,
- potrebnu dinamiku i uvjete izvođenja radova.

Zbog različitih uvjeta na terenu, usjek je podijeljena na četiri segmenta:

- *A* – srac. km 72+370 – 72+420, Slika 2.,
- *B* – stac. km 72+420 – 72+490, Slika 3.,
- *C* – stac. km 72+490 – 72+544, Slika 4.,
- *D* – stac. km 72+544 – 72+590, Slika 5.,

Za zaštitu segmenata *A*, *B*, *C*, *D*, predmetnog usjeka odabrana su slijedeća tehnička rješenja:

- osiguranje stabilnosti blokova zaštitnom mrežom za usmjeravanje odrona minimalne nosivosti 65 kN/m'
- osiguranje stabilnosti blokova zaštitnom mrežom za usmjeravanje odrona minimalne nosivosti 65 kN/m'
- osiguranje stabilnosti sustavom sidara i zaštitnih prednapregnutih mreža minimalne nosivosti 150 kN/m'
- uklanjanje nestabilnih stijenskih blokova

Sve elemente sustava zaštitne mreže potrebno je trajno zaštititi od korozije i to, klasa A prema HRN EN 10244 normi. Antikorozivna zaštita sastoji je od 90%Zn/10%Al.

4.1. OSIGURANJE STABILNOSTI SEGMENTA A – STAC. KM 72+370-72+420

Dio pokosa, prikazan na slici 4., segmenta A predviđa se zaštititi zaštitnom mrežom za usmjeravanje odrona minimalne nosivosti 65 kN/m', a završetak mreže učvršćuje se na dnu pokosa tipskim sidrima.



Slika 4. Prikaz dijela usjeka A – srac. km 72+370 – 72+420

Predviđene sanacijske faze su:

- čišćenje lica pokosa od niskog raslinja/vegetacije i nestabilnih blokova do 100 kg (cca. do 0,4 m idealiziranog promjera),
- označavanje točaka bušenja sidara,
- izrada sidara u zaleđu usjeka za prihvat mreže,
- postavljanje zaštitne mreže.

4.2. OSIGURANJE STABILNOSTI SEGMENTA B – STAC. KM 72+420-72+490

Dio pokosa, prikazan na slici 5., segmenta B predviđa se zaštititi sistemom pasivnih samobušivih sidra vanjskog promjera 32 mm, minimalne vlačne čvrstoće $F_{yk} = 180 \text{ kN}$ (Yield load) duljine 4,0 m u prvom redu i 3,0 m u drugom i trećem redu, pod nagibom od 10° u odnosu na horizontalu na rasteru od 3,0 x 3,0 m (horizontalni/vertikalni razmak). Minimalni promjer bušotine je 76 mm, a zaštitne prednapregnute mreže minimalne su nosivosti 150 kN/m' , koja se na dnu usjeka učvršćuje sa tipskim sidrima. Sila potrebna za pritezanje podložnih ploča matica sidra iznosi $F_p=40\text{kN}$. Sva sidra kao i mreže potrebno je antikorozivno zaštititi.

Visina usjeka segmenta B kreće se od 5,5 do 11,5 m.



Slika 5. Prikaz dijela usjeka B – stac. km 72+420 – 72+490

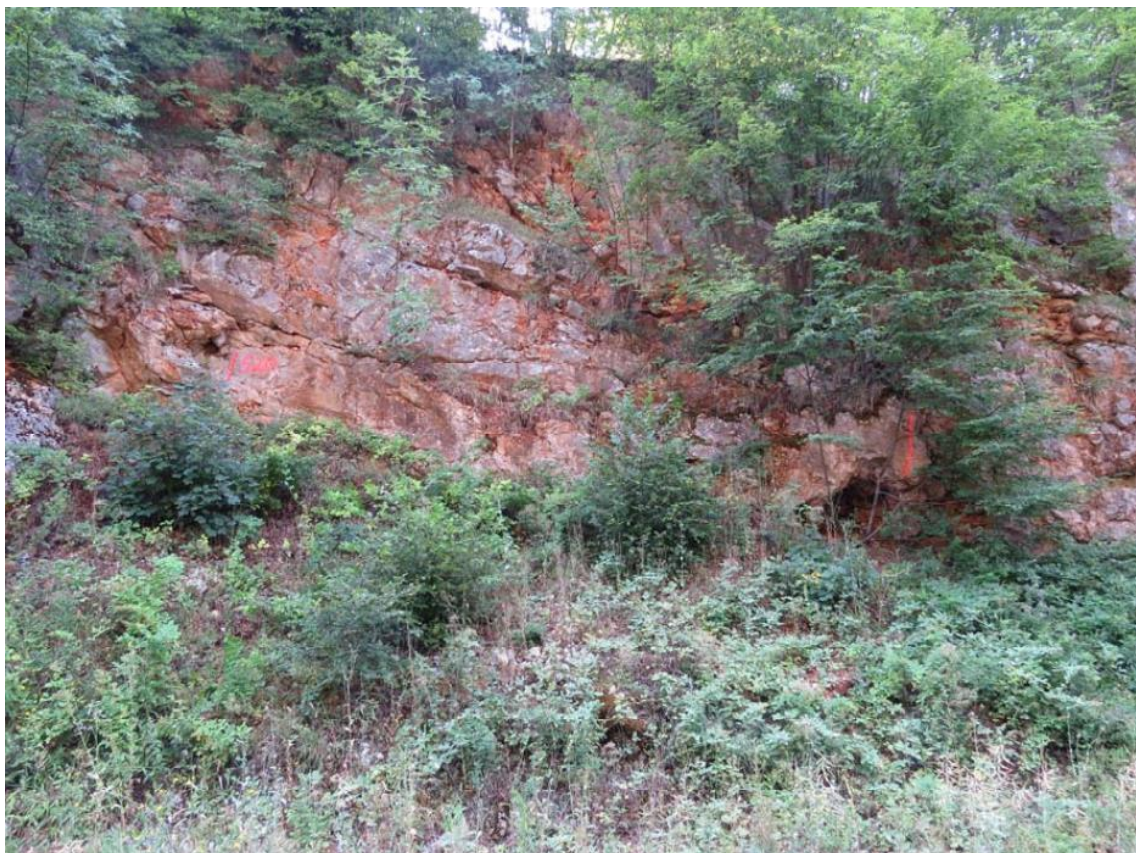
Predviđene sanacijske faze su:

- čišćenje lica pokosa od niskog raslinja/vegetacije i nestabilnih blokova do 100 kg (cca. do 0,4 m idealiziranog promjera),
- označavanje točaka bušenja sidara,
- izrada sidara u zaleđu usjeka za prihvat mreže,
- postavljanje zaštitne mreže,
- lokalno udubljenje, bušenje i ugradnja sidara po licu zasjeka i prednaprezanje sustava.

4.3. OSIGURANJE STABILNOSTI SEGMENTA C – STAC. KM 72+490-72+544

Dio pokosa, prikazan na slici 6., segmenta C predviđa se zaštititi zaštitnom mrežom za usmjeravanje odrona minimalne nosivosti 65 kN/m', a završetak mreže učvršćuje se na dnu pokosa tipskim sidrima. Na tom segmentu postoji suhozid koji je potrebno sanirati te je predviđena zaštita sistemom samobušivih sidara karakteristične minimalne otpornosti tetive $F_{yk} = 180$ kN (Yield load) duljine 4,0 m pod nagibom od 10° u odnosu na horizontalu na rasteru 2,0 x 2,0 m u kombinaciji sa zaštitnom mrežom. Sila potrebna za pritezanje podložnih ploča matica sidra iznosi $F_p = 40$ kN.

Visina usjeka segmenta C kreće se od 8,0 do 11,5 m.



Slika 6. Prikaz dijela usjeka C – stac. km 72+490 – 72+544

Predviđene sanacijske faze su:

- čišćenje lica pokosa od niskog raslinja/vegetacije i nestabilnih blokova do 100 kg (cca. do 0,4 m idealiziranog promjera),
- označavanje točaka bušenja sidara,
- izrada sidara u zaleđu usjeka za prihvat mreže,
- postavljanje zaštitne mreže,
- lokalno udubljenje, bušenje i ugradnja sidara po licu zasjeka i prednaprezanje sustava.

4.4. OSIGURANJE STABILNOSTI SEGMENTA D – STAC. KM 72+544-72+590

Dio pokosa, prikazan na slici 7., segmenta D predviđa se zaštititi sistemom pasivnih samobušivih sidra vanjskog promjera 25 mm, minimalne vlačne čvrstoće $F_{yk} = 185 \text{ kN}$ (Yield load) duljine 4,0 m u prvom redu i 3,0 m u drugom i trećem redu, pod nagibom od 10° u odnosu na horizontalu na rasteru od $3,0 \times 3,0 \text{ m}$ (horizontalni/vertikalni razmak). Minimalni promjer bušotine je 51 mm, a zaštitne prednapregnute mreže minimalne su nosivosti 150 kN/m' koja se na dnu usjeka učvršćuje sa tipskim sidrima. Sila potrebna za pritezanje podložnih ploča matica sidra iznosi $F_p=40\text{kN}$. Sva sidra kao i mreže potrebno je antikorozivno zaštititi.

Visina usjeka segmenta B kreće se od 1,0 do 11,5 m.



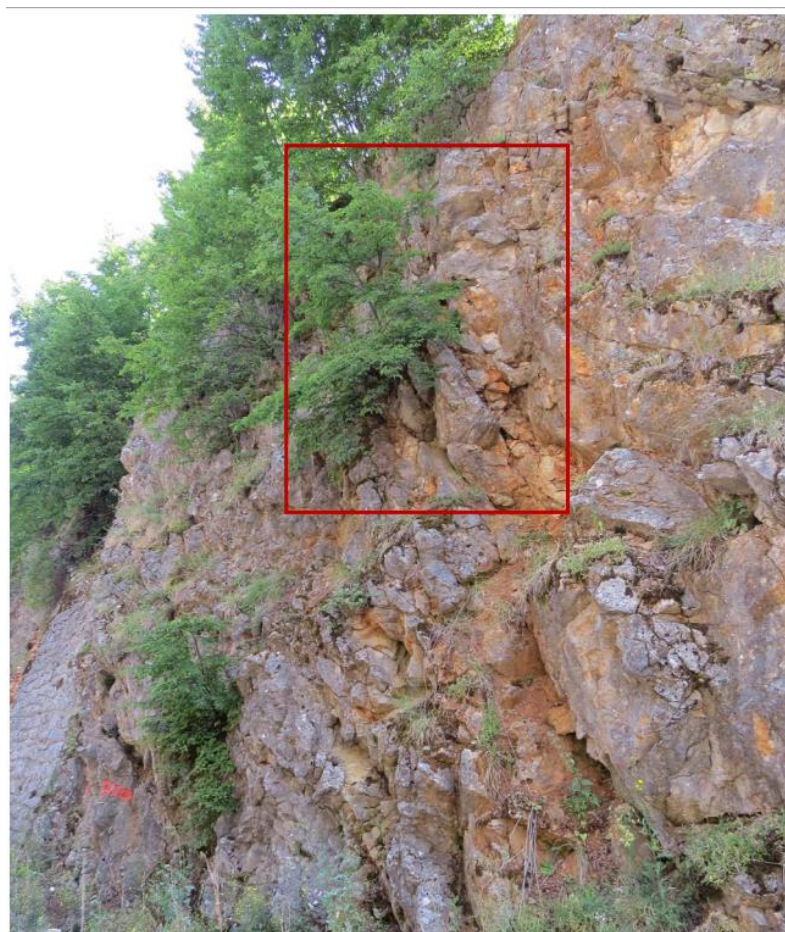
Slika 7. Prikaz dijela usjeka D – stac. km 72+544 – 72+590

Predviđene sanacijske faze su:

- čišćenje lica pokosa od niskog raslinja/vegetacije i nestabilnih blokova do 100 kg (cca. do 0,4 m idealiziranog promjera),
- označavanje točaka bušenja sidara,
- izrada sidara u zaleđu usjeka za prihvat mreže,
- postavljanje zaštitne mreže,
- lokalno udubljenje, bušenje i ugradnja sidara po licu zasjeka i prednaprezanje sustava.

4.5. UKANJANJE NESTABILNIH STIJENSKIH BLOKOVA

Tokom ophodnje lokacije ustanovljene su dezintegrirane zone, prikazano na slici 8., na kojima postoji opasnost od odrona stijenske mase, tj. blokova/samaca. Nepovoljni klimatski uvjeti mogli bi dovesti do odrona stijena, stoga ih je potrebno usitniti ručnim alatima i ukloniti te transportirati na za to predviđenu deponiju.



Slika 8. Dezintegrirana zona nestabilnih stijenskih blokova

5. METODE I REZULTATI PRORAČUNA

5.1. METODE PRORAČUNA STABILNOSTI

Proračun globalne i lokalne stabilnosti proveden je graničnim analizama. Globalna stabilnost provedena je u programskom paketu GeoStudio 2007 SLOPE/W Morgenstern-Price metodom granične ravnoteže za stabilnost kosina. Lokalna stabilnost stijenskih blokova sastoji se od proračuna ravninskog i klinastog sloma te direktnog prevrtanja, a proračun proveden je u programskom paketu Rocscience Inc.

5.1.1. Globalna stabilnost kosine usjeka

Obzirom na broj i male razmake pukotinskih sustava, ustanovljeno prethodnim istražnim radovima, pri proračunu globalne stabilnosti usvaja se Hoek – Brownov model stijene. Lokalno promatrajući stijensku masu očekuje se ponašanje diskontinuirane geotehničke sredine, dok se na globalnoj razini očekuje ponašanje kvazikontinuirane geotehničke sredine [5].

Prilikom proračuna čvrstoće intaktne ili kvazikontinuirane sredine koristi se Hoek-Brownov empirijski kriterij sloma koji glasi [5]:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^b$$

gdje su:

σ'_1, σ'_3 - glavna naprezanja prilikom sloma

σ'_{ci} – jednoaksijalna tlačna čvrstoća

m_b – reducirana konstanta materijala

m_b – koeficijent strukture stijenske mase

$$m_b = m_i \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{24-14D} \right)}$$

s, a – koeficijent strukture stijenske mase, koje se dobiju iz izraza [5]

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{24-14D} \right)}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

gdje su:

GSI – geološki indeks čvrstoće

D – faktor poremećenosti stijenske mase uslijed načina iskopa

Faktor poremećenosti stijenske mase D, kreće se od 0 za neporemećenu do 1 za jako poremećenu stijensku masu. Kod mehaničkog otpora faktor D se uglavnom kreće od 0,7 do 0,8.

Uvrštavamo li vrijednost $\sigma'_3 = 0$ u opću jednadžbu kriterija dobiva se relacija za izračun jednoosne čvrstoće stijenske mase [5]:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

Na temelju dvoosnog stanja pri vlačnom naprezanju dobiva se relacija za izračun vlačne čvrstoće stijenske mase [5]:

$$\sigma_c = \frac{-(s \cdot \sigma_{ci})}{m_b}$$

5.1.2. Lokalna stabilnost stijenskih blokova

Proračuni faktora konzervativnosti za ravninski i klinasti oblik sloma te prevrtanje blokova provedeni su za kombinaciju klinova koji zadovoljavaju kinematski uvjet i uvjet čvrstoće. Visina klinova je uzeta u obzir u odnosu na perzistenciju i razmak diskontinuiteta koji formiraju slom. Korišteni su Bartonovi kriteriji izračuna posmične čvrstoće diskontinuiteta [5].

Posmična čvrstoća diskontinuiteta pri proračunima lokalnih stabilnosti je provedena prema Bartonovom kriteriju. Vrijednost posmične čvrstoće diskontinuiteta računa se prema izrazu [5]:

$$\tau = \sigma_n \cdot \varphi \operatorname{tg} \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \varphi_b \right)$$

Gdje su:

σ_n – vrijednost normalnog naprezanja na plohi diskontinuiteta

JRC – koeficijent hrapavosti pukotine

JCS – tlačna čvrstoća zidova diskontinuiteta

φ_b – bazični kut unutarnjeg trenja

5.1.3. Parametri za proračun globalne stabilnosti usjeka

Usvojeni parametri čvrstoće i krutosti stijenske mase, prikazani u tablici 2. i 3., u skladu su s rezultatima laboratorijskih ispitivanja, in-situ ispitivanja i vrijednosti preuzetih iz geotehničkog elaborata.

Tablica 2. Ulazni parametri za proračun globalne stabilnosti usjeka

Stijena	σ'_{ci} [Mpa]	MR	GSI	D	E_i [Mpa]	E_m [MPa]	m_i	m_b	s	a
Strukturni blok B stac. km 72+420 – 72+490										
Vapnenac GTZ	70	600	34	0,7	42000	1794,21	8	0,213	0,0001	0,517
Vapnenac DTZ	80	600	40	0,5	48000	3690,89	8	0,459	0,0003	0,511
Strukturni blok C stac. km 72+490 – 72+544										
Vapnenac GTZ	70	600	38	0,7	42000	2191,95	8	0,265	0,0001	0,513
Strukturni blok C stac. km 72+544 – 72+605										
Vapnenac GTZ	70	600	38	0,7	42000	2191,95	8	0,265	0,0001	0,513

Gdje su:

σ_{ci} – jednoaksijalna tlačna čvrstoća intaktnog uzorka stijene

MR – odnos modula deformacije stijenskog masiva i modula monolitnog dijela stijenskog masiva

GSI – geološki indeks čvrstoće (funkcija raspucanosti pukotinskog sustava)

D – faktor poremećenosti uzorka

E_i – modul elastičnosti intaktnog uzorka stijene, $E_i = MR \times \sigma_{ci}$

E_m – modul elastičnosti stijenske mase

m_i , m_b , s , a – konstante materijala

Tablica 3. Ulazni parametri za proračun globalne stabilnosti usjeka

Stijena	σ_c [Mpa]	γ_{unstat} [Mpa]	σ_c [Mpa]	σ_c [Mpa]	c [Mpa]	φ [°]	σ_{3max} [Mpa]	H [Mpa]
Strukturni blok B stac. km 72+420 – 72+490								
Vapnenac GTZ	0,498	26	-0,023	3,905	0,119	46	0,271	11,5
Vapnenac DTZ	1,338	26	-0,058	6,884	0,221	52	0,286	11,5
Strukturni blok C stac. km 72+490 – 72+544								
Vapnenac GTZ	0,697	26	-0,033	4,488	0,144	47	0,275	11,5
Strukturni blok D stac. km 72+544 – 72+605								
Vapnenac GTZ	0,697	26	-0,033	4,488	0,144	47	0,275	11,5

Gdje su:

σ_c – jednoaksijalna čvrstoća stijenske mase

γ_{unstat} – jedinična težina stijene

σ_t – vlačna čvrstoća

σ_{cm} – triaksijalna tlačna čvrstoća

c – kohezija stijenske mase

φ – kut unutarnjeg trenja stijenske mase

σ_{3max} – procijenjeno horizontalno naprezanje

H – procjena visine klizne plohe

5.1.4. Seizmika

Seizmička analiza za promatrano područje rađena je pseudostatičkom analizom za povratni period od 475 godina. Na slici 9. vidljiv je isječak karte Republike Hrvatske promatranog područja sa srednjim vrijednostima akceleracije.



Slika 9. Isječak karte Republike Hrvatske sa srednjim vrijednostima akceleracije

Za proveden seizmički proračun kod povratnog perioda od 475 godina korišten je horizontalni koeficijent uslijed potresne akceleracije $a_h=0,72$ m/s².

Horizontalni i vertikalni seizmički koeficijenti izračunati su prema izrazima [5]:

$$k_h = \frac{\alpha \cdot S}{r}, \quad k_v = 0,5 \cdot k_h$$

Gdje su:

α – omjer proračunskog ubrzanja temeljnog tla za temeljno tlo a_g i gravitacijsko ubrzanje g

r – empirijski koeficijent

S – parametar tla određen iz tablice 3.2 norme HRN EN 1998-1

Koeficijent r određuje se iz tablice, u ovom slučaju iznosi 1,0 koji se odnosi na savitljive armirano betonske zidove, usidrene ili ukružene zidove, armirano betonske zidove temeljene na pilotima, pridržane zidove podruma i upornjake mosta.

Parametar S određuje se iz tablice ovisno o tipu tla i obliku elastičnog spektralnog odziva.

Tip tla se također određuje iz tablice, u ovom slučaju tlo se svrstava u kategoriju A koja obuhvaća stijene ili stjenovitu masu, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini.

Horizontalno ubrzanje: $a_g = 0,160g$

Tip tla: A

$S = 1$

$$\alpha = \frac{a_g}{g} = 0,16$$

$r = 1,0$

$$\text{Horizontalni seizmički koeficijent: } k_h = \frac{\alpha \cdot S}{r} = 0,160$$

$$\text{Vertikalni seizmički koeficijent: } k_v = 0,5 \cdot k_h = 0,080$$

5.2. REZULTATI PROVEDENIH ANALIZA STABILNOSTI

5.2.1. Strukturni blok B stac. km 72+420 – 72+490

Na strukturnom bloku B provedene su analize ravninskog klizanja, klinastog klizanja, direktnog prevrtanja blokova i globalna stabilnost. Uz to provedeno je dimenzioniranje sidara.

Potencijalni oblici sloma prema kinematskim uvjetima i uvjetima čvrstoće određeni su u odnosu na položaj usjeka i orijentaciju utvrđenih diskontinuiteta. U Tablici 4. prikazane su orijentacije diskontinuiteta s naznačenim kombinacijama mogućih slomova i parametrima koji se koriste tokom proračuna.

Tablica 4. Parametri korišteni tokom proračuna i kombinacije mogućih slomova dobivenih analizom setova diskontinuiteta

SET	dip dir. [°]	dip	L- pez.	d [m]	α [°]	app.dip [°]	γ_{unstat} [kN/m ³]	JRC [-]	JSC [kN/m ³]	ϕ_b [°]	R	K	P
Strukturni blok B stac. km 72+420 – 72+490													
kosina uvjeka	307	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ss	135	25	3-10 10-20	0,08-1,55	-	-	26	2-4	25-35	35			
SP₂	228	78	1-3 3-10	0,18-1,20	-	-	26	2-4 6-8	25-30	35		X	
SP₃	297	59	<1 1-3	0,15-0,73	-	-	26	2-4 8-10	25-30	35	X	X	
SP₄	47	73	<1 1-3	0,15-0,73	-	-	26	2-4 6-8	25-30	35		X	

Gdje su:

SET – oznaka seta diskontinuiteta

dip dir. – kut nagiba diskontinuiteta u odnosu na sjever

dip – kut nagiba diskontinuiteta u odnosu na horizontalnu ravninu

L-perz. – perzistencija, duljina pružanja diskontinuiteta, postojanost diskontinuiteta

d – razmak diskontinuiteta bolje i lošije kvalitete

app.dir – prividni kut nagiba između ravnine presjeka i diskontinuiteta

γ - zapreminska težina stijene

JRC – koeficijent hrapavosti

JCS – tlačna čvrstoća zidova diskontinuiteta

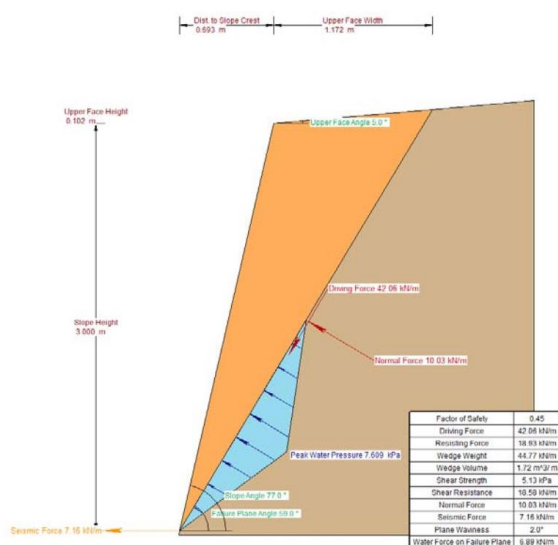
φ_b - bazni kut trenja

R, K, P – ravninski slom, klinasti slom i prevrtanje blokova za koje postoje uvjeti

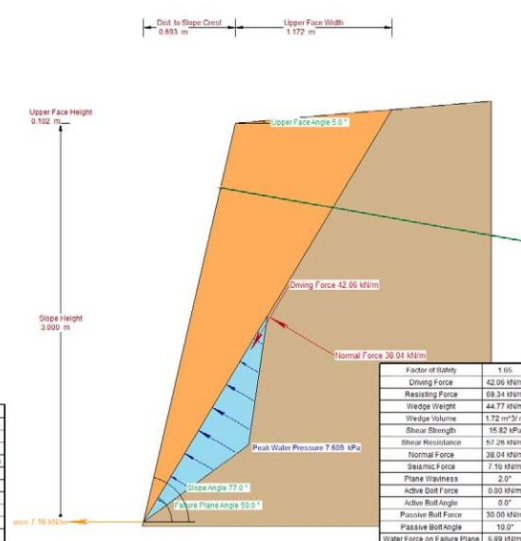
Ravninsko klizanje

Prilikom analize ravnog sloma visina bloka određena je duljinom pružanja diskontinuiteta seta SP3 (u modelu označeno 297/59). U obzir uzeta je zasićenost pukotinskog sustava od 50% i horizontalni seizmički koeficijent $k_h=0,160$.

Iz proračuna stabilnosti ravnog sloma u kojem nije uključeno sidrenje, prikazano na Slici 10., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=0,45$, što nije zadovoljavajuće te je potrebno poduzimanje daljnjih mjera stabilizacije. Ukoliko se za rješavanje lokalne stabilnosti koristi sustav sidara nosivosti 30 kN/m, dužine 4 m na razmaku od 3 m, prikazano na Slici 11., dobiva se faktor sigurnosti $F_s=1,65$, što je zadovoljavajuće.



Slika 10. Grafički prikaz modela ravnog sloma bez sidara ($F_s=0,45$)



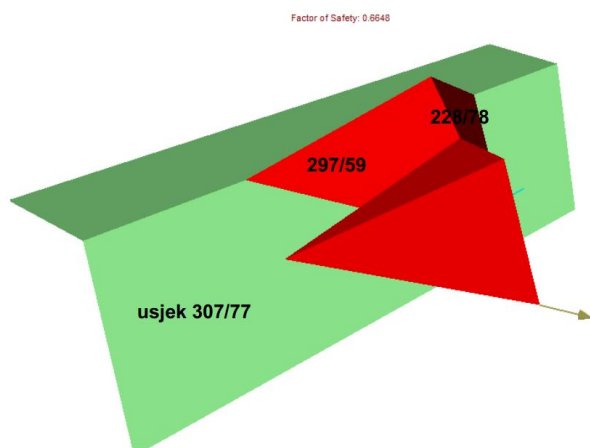
Slika 11. Grafički prikaz modela ravnog sloma sa sidrima ($F_s=1,65$)

Klinasto klizanje

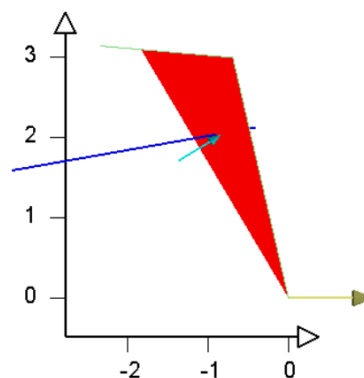
Analizira se stabilnosti klinova koje formiraju setovi pukotina SP2-SP3 (u modelu označeno kao 228/78 i 297/59) i SP3-SP4 (u modelu označeno kao 297/59 i 47/73).

Visina bloka klina SP2-SP3 određena je duljinom pružanja diskontinuiteta seta SP3 (L-perz. 1-3 m). U obzir uzeta je zasićenost pukotinskog sustava od 50% i horizontalni seizmički koeficijent $k_h=0,160$.

Iz proračuna lokalne stabilnosti klina u kojem nije uključeno sidrenje, prikazano na Slici 12., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=0,66$, što nije zadovoljavajuće te je potrebno poduzimanje mjera stabilizacije. Ukoliko se za rješavanje stabilnosti klina koristi sustav sidara nosivosti 50 kN/m, dužine 4 m na razmaku od 3 m, prikazano na Slici 13., dobiva se faktor sigurnosti $F_s=1,68$, što je zadovoljavajuće.



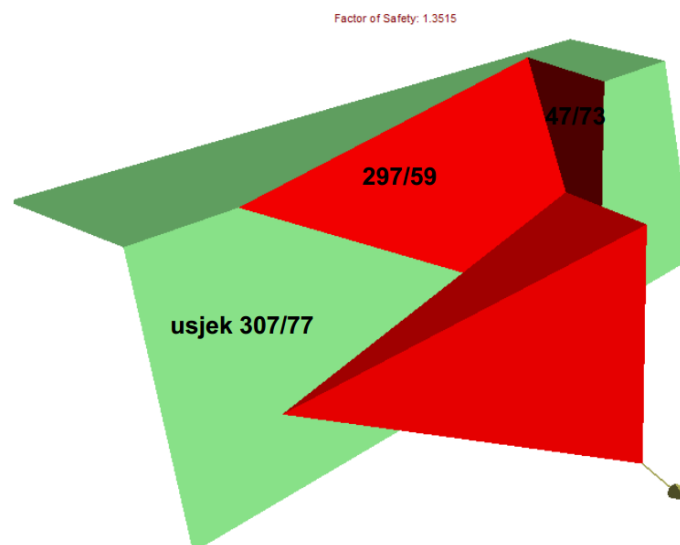
Slika 12. Grafički prikaz modela klina SP2-SP3 unutar strukturnog bloka B bez sidara ($F_s=0,66$)



Slika 13. Grafički prikaz modela klina SP2-SP3 unutar strukturnog bloka B sa sidrima ($F_s=1,68$)

Visina bloka klina SP3-SP4 određena je duljinom pružanja diskontinuiteta seta SP3 i diskontinuiteta seta SP4 (L-perz. 1-3 m). U obzir uzeta je zasićenost pukotinskog sustava od 50% i horizontalni seizmički koeficijent $k_h=0,160$.

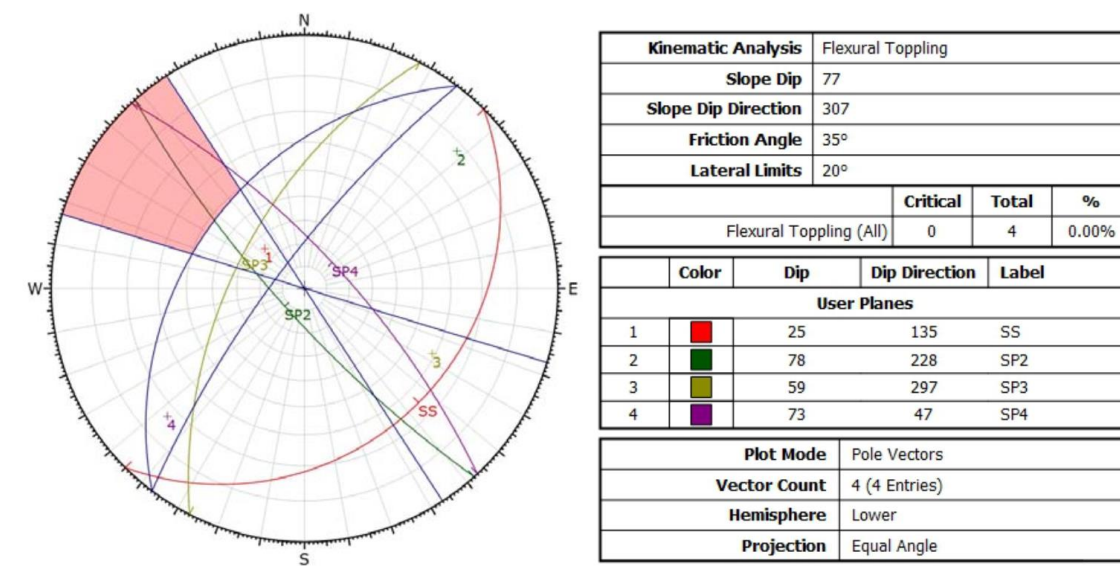
Iz proračuna lokalne stabilnosti klina u kojem nije uključeno sidrenje, prikazano na Slici 14., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=1,35$, što je zadovoljavajuće i bez uključivanja sustava sidara.



Slika 14. Grafički prikaz modela klina SP3-SP4 unutar strukturnog bloka B bez sidara ($F_s=1,35$)

Direktno prevrtanje

Prilikom analize setova diskontinuiteta, prikazano na Slici 15., kriteriji za direktno prevrtanje nisu zadovoljeni jer polovi normala diskontinuiteta nisu u odgovarajućem području.



Slika 15. Stereografska projekcija setova diskontinuiteta za analizu direktnog prevrtanja za strukturni blok B

Globalna stabilnost

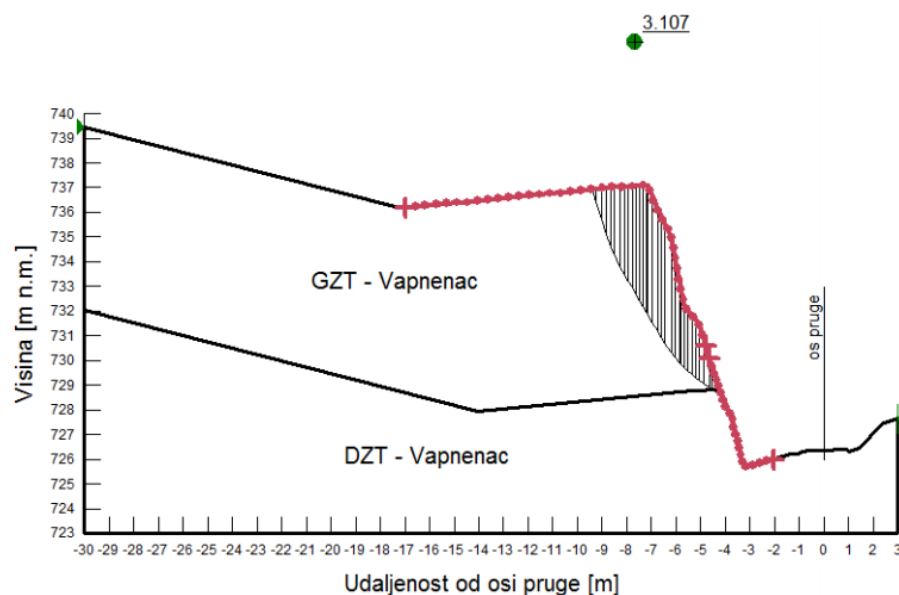
Provedena je analiza globalne stabilnosti usjeka unutar strukturnog bloka B prilikom koje je uvaženi litološki raspored slojeva. Gornja zona trošenja (u modelu označeno kao GZT) sastavljena je od Vapnenca, jednako kao i donja zona trošenja (u modelu označeno kao DZT), no postoji razlika u svojstvima gornje i donje zone koje treba uzeti u obzir prilikom proračuna. Razlika u svojstvima slojevima je:

- geološki indeks čvrstoće, GSI – GZT: GSI=34 / DZT: GSI=40,
- jednoaksijalna tlačna čvrstoća, σ_c – GZT: $\sigma_c = 70000$ kPa / DZT: $\sigma_c = 80000$ kPa,
- faktor poremećenosti, D – GZT: D=0,7 / DZT: D=0,5,
- horizontalno naprezanje, σ_3 : GZT – $\sigma_3 = 271$ kPa / DZT: $\sigma_3 = 286$ kPa,

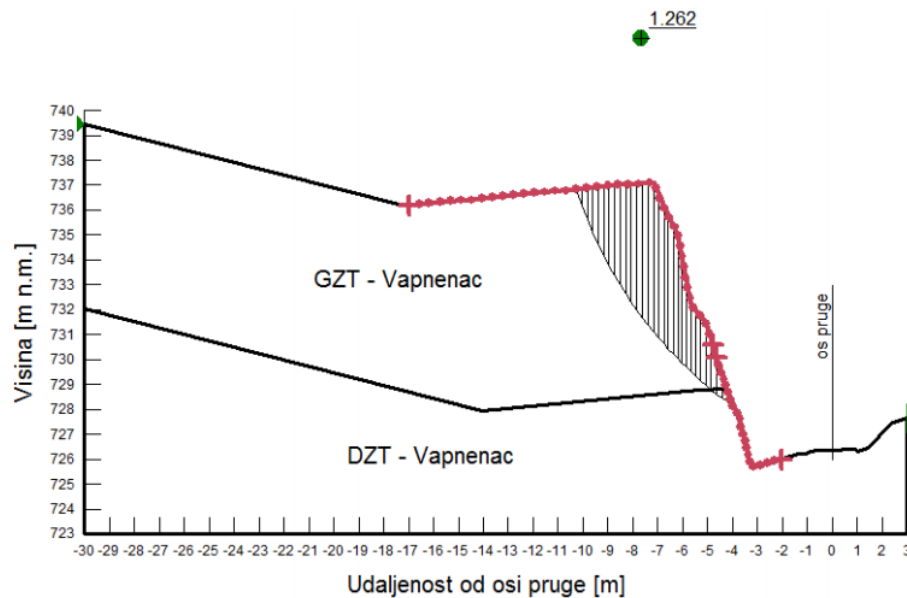
dok je jednaka:

- jedinične težine za oba sloja 26 kN/m^3 i
- konstanta materijala m_i za oba 8.

Provedbom proračuna statičke analize globalne stabilnosti usjeka, prokazanog na Slici 16., proizlazi faktor sigurnosti $F_s = 3,107$, što je zadovoljavajuće i bez poduzimanja mjera stabilizacije. Provedbom dinamičke analize globalne stabilnosti usjeka, prokazanog na Slici 17., proizlazi faktor sigurnosti $F_s = 1,262$, što je također zadovoljavajuće.



Slika 16. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka B - statička analiza
($F_s=3,107$)



Slika 17. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka B - dinamička analiza
($F_s=1,262$)

Dimenzioniranje sidara

Pri dimenzioniranju sidra u obzir se uzima najveća karakteristična uzdužna radna sila od 90 kN i najveća karakteristična poprečna radna sila od 24 kN dobivena lokalnom analizom. Proračunske sile u sidrima su: $N_{Ed}=90 \times 1,35 = 122$ kN i $V_{Ed}=24 \times 1,35 = 33$ kN.

Proračun nosivosti se provodi prema normi HRN EN 1993-1-1:2014 za svojstva čelika:

<u>Materijal</u>	<u>Geometrija</u>	<u>Parcijalni faktori sigurnosti</u>
$f_y = 528 \text{ N/mm}^2$	$D_0 = 32 \text{ mm}$	$\gamma_{M0} = 1,0$
$f_u = 645 \text{ N/mm}^2$	$D_i = 21,0 \text{ mm}$	
	$A = 341 \text{ mm}^2$	

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu dobiva se iz relacije:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,41 \cdot 52,8}{1,0} = 180 \text{ kN}$$

verifikacije $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{122}{180} = 0,68 < 1,0$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu dobiva se iz relacije:

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 3,41}{\pi} = 2,2 \text{ cm}^2 \text{ posmična površina poprečnog presjeka}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2,2 \left(\frac{52,8}{\sqrt{3}} \right) \cdot 3,41}{1,0} = 66 \text{ kN}$$

verifikacije $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{33}{66} = 0,5 < 1,0$

Odabir minimalne duljine sidrenja:

Odabran je profil bušenja Ø76mm i prionjivost cementne smjese za vapnenac $\tau = 500 \text{ kN/mm}^2$.

$$I_s = \frac{N_{Ed}}{D \cdot \pi \cdot \tau} = \frac{122}{0,076 \cdot \pi \cdot 500} = 1,02 \text{ m}$$

Prema normi HRN EN 1998-5:2012 potrebno je povećati dužinu sidrenja zbog dinamičkog opterećenja na konstrukciju, i to:

$$I_{s,d} = I_s \cdot (1 + 1,5 \cdot \alpha \cdot S) = 1,02(1 + 1,5 \cdot 0,160 \cdot 1) = 1,3 \text{ m}$$

Prema dobivenim proračunu, odabire se trajno samobušivo sidro vanjskog promjera Ø32 mm, minimalne nosivosti $F_{yk} = 180 \text{ kN}$, duljine 4 m u prvom redu, a 3,0 m u drugom i trećem redu na rasteru od 3,0 x 3,0 m. Minimalni promjer bušotine iznosi Ø76 mm

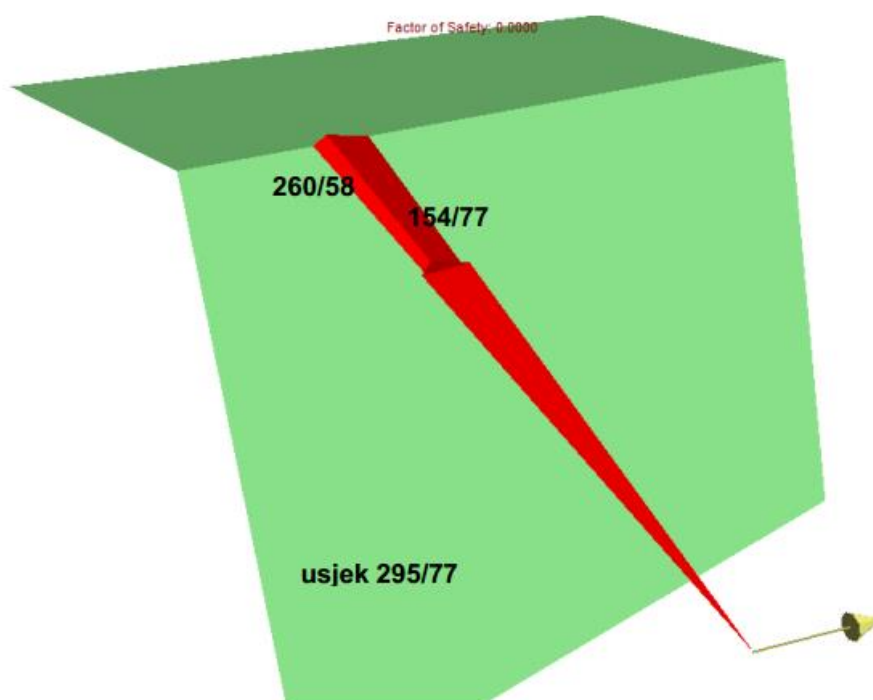
5.2.2. Strukturni blok C stac. km 72+490 – 72+544

Na strukturnom bloku C provedene su analize ravninskog klizanja, klinastog klizanja, direktnog prevrtanja blokova i globalna stabilnost.

Prilikom analiza mogući oblici sloma određivani su prema položaju usjeka i orijentaciji utvrđenih diskontinuiteta. Ustanovljeno je da postoji potencijalna opasnost od klinastog sloma, a kriteriji za ravninsko klizanje i direktno prevrtanje blokova nisu zadovoljeni zbog položaja diskontinuiteta.

Klinasto klizanje

Analizom strukturnog bloka C utvrđen je jedan klin kojem prijeti opasnost od klinastog sloma, prikazan na Slici 18. Proračunom dobiven je faktor sigurnosti $F_s=0,00$. Zbog manjih dimenzija bloka i malog intenziteta sustava pukotina za stabilizaciju klina koristi se zaštitna mreža umjesto sidara.



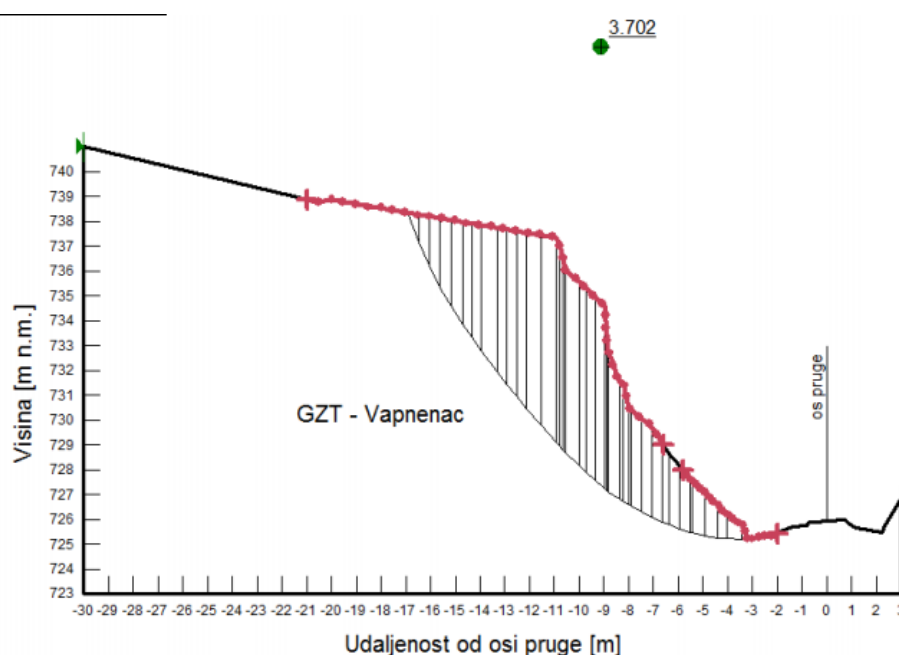
Slika 18. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka C bez sidara ($F_s=0,00$)

Globalna stabilnost

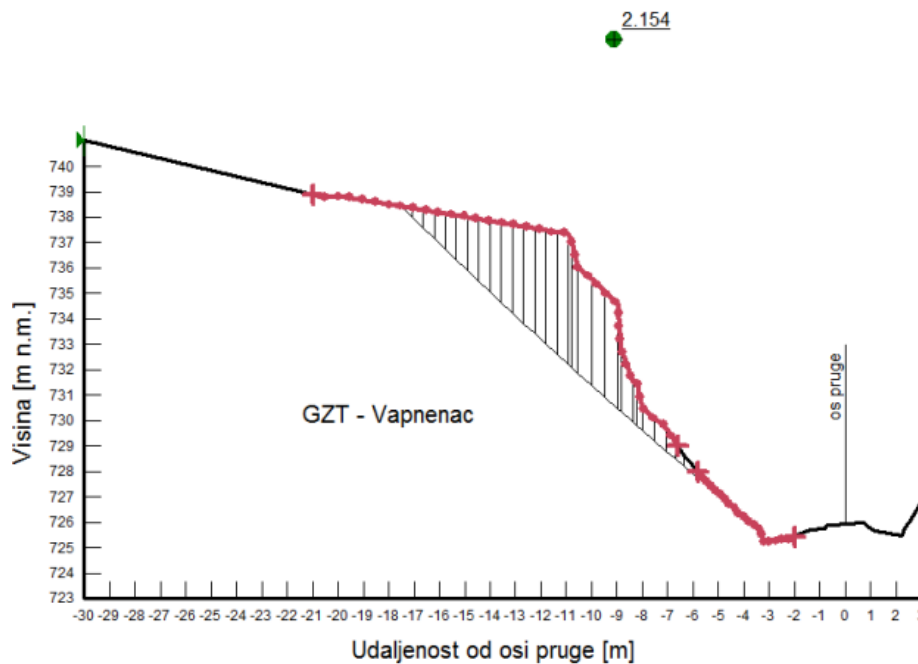
Provedena je analiza globalne stabilnosti usjeka unutar strukturnog bloka C gdje ne postoje razlike u svojstvima stijene po dubini zbog slojevitosti. Usjek je po cijeloj dubini sastavljen od vapnenca, i to sa svojstvima:

- jedinična težina – 26 kN/m^3
- geološki indeks čvrstoće, GSI – 38,
- jednoaksijalna tlačna čvrstoća, σ_c – 70000 kPa ,
- faktor poremećenosti, D – 0,7,
- horizontalno naprezanje, σ_3 – 275 kPa ,
- konstanta materijala m_i – 8.

Provedbom proračuna statičke analize globalne stabilnosti usjeka, prikazanog na Slici 19., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=3,702$, što je zadovoljavajuće i bez poduzimanja mjera stabilizacije. Provedbom dinamičke analize globalne stabilnosti usjeka, prikazanog na Slici 17., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=2,154$, što je također zadovoljavajuće.



Slika 19. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka C - statička analiza ($F_s=3,702$)



Slika 20. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka C - dinamička analiza ($F_s=1,262$)

5.2.3. Strukturni blok D stac. km 72+544 – 72+605

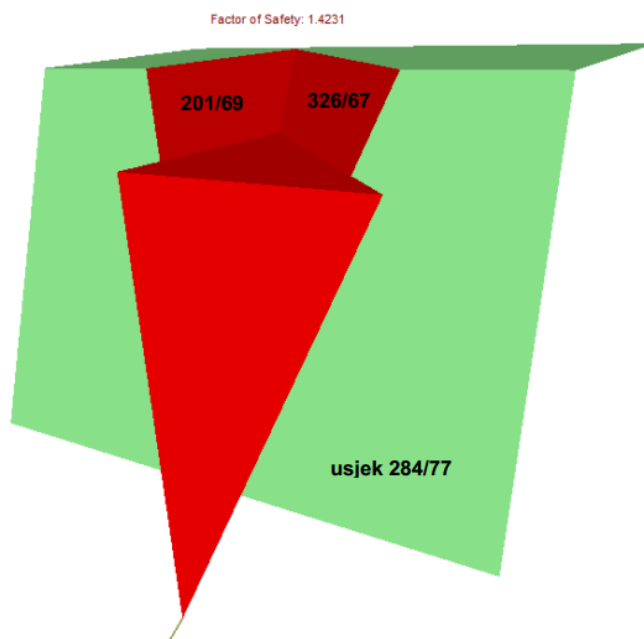
Na strukturnom bloku D provedene su analize ravninskog klizanja, klinastog klizanja, direktnog prevrtanja blokova i globalna stabilnost, kao i dimenzioniranje sidara.

Prilikom analiza mogući oblici sloma određivani su prema položaju usjeka i orijentaciji utvrđenih diskontinuiteta. Ustavovljeno je da postoji potencijalna opasnost od klinastog sloma, a kriteriji za ravninsko klizanje i direktno prevrtanje blokova nisu zadovoljeni zbog položaja diskontinuiteta.

Klinasto klizanje

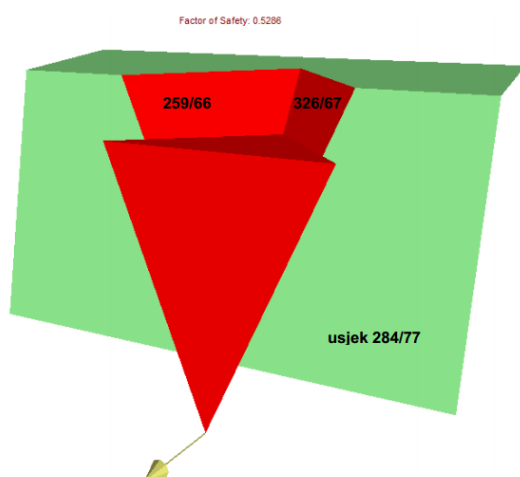
Analizom strukturnog bloka D utvrđena su dva klina kojima prijeti opasnost od klinastog sloma.

Proračunom klina, prikazanog na Slici 21., unutar području strukturnog bloka D dobiven je faktor sigurnosti $F_s=1,42$, što je zadovoljavajuće i nije potrebno poduzimanje daljnjih mjera stabilizacije, odnosno sidrenje.

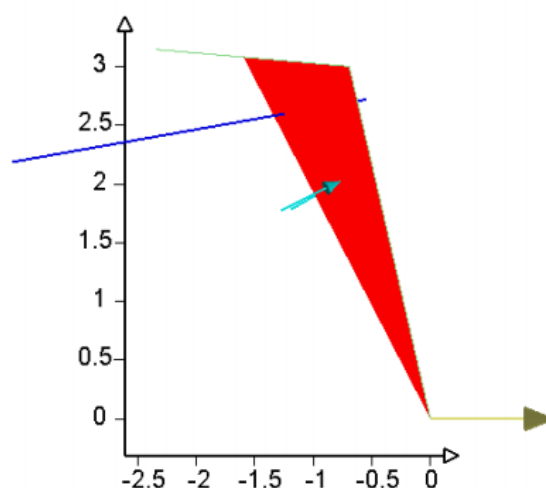


Slika 21. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka D bez sidara ($F_s=1,42$)

Proračunom klina, prikazanog na Slici 22., unutar područja strukturnog bloka D dobiven je faktor sigurnosti $F_s=0,52$, što je nije zadovoljavajuće te je potrebno poduzimanje daljnjih mjera stabilizacije. Ukoliko se kao mjera stabilizacije koristi sidro nosivosti 50 kN, prikazano na slici 23., nakon proračuna faktor sigurnosti iznosi $F_s=1,93$.



Slika 22. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka D bez sidara ($F_s=0,66$)



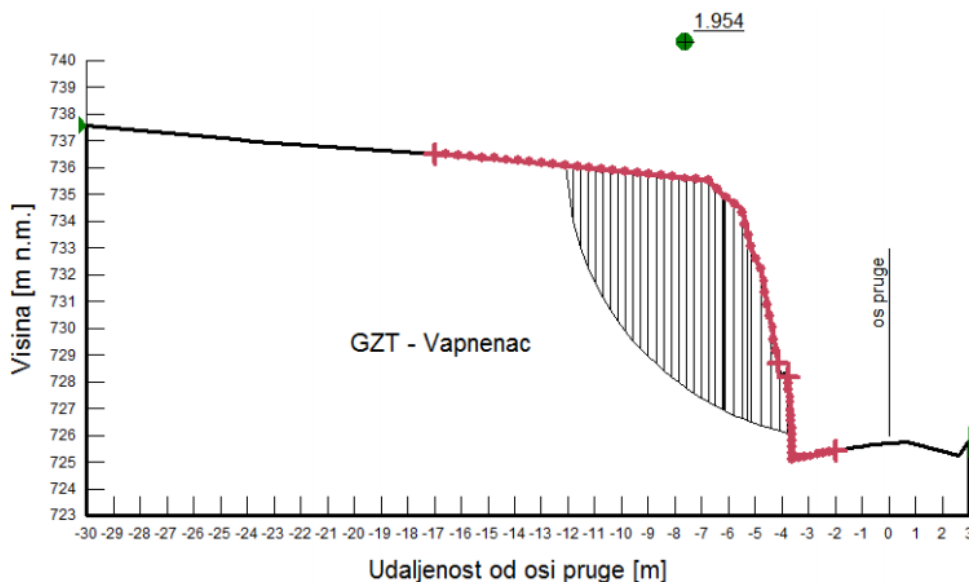
Slika 23. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka D sa sidrima ($F_s=1,68$)

Globalna stabilnost

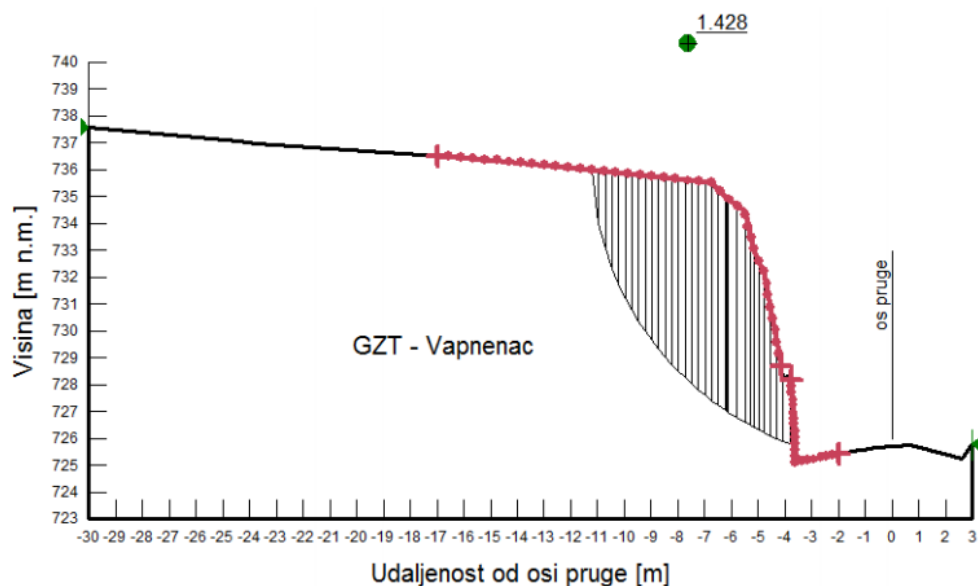
Provedena je analiza globalne stabilnosti usjeka unutar strukturnog bloka D gdje, ne postoje razlike u svojstvima stijene po dubini zbog slojevitosti. Usjek je po cijeloj dubini sastavljen od vapnenca, i to sa svojstvima:

- jedinična težina – 26 kN/m^3
- geološki indeks čvrstoće, GSI – 38,
- jednoaksijalna tlačna čvrstoća, σ_c – 70000 kPa ,
- faktor poremećenosti, D – 0,7,
- horizontalno naprezanje, σ_3 – 275 kPa ,
- konstanta materijala m_i – 8.

Provedbom proračuna statičke analize globalne stabilnosti usjeka, prikazanog na Slici 24., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=1,954$, što je zadovoljavajuće i bez poduzimanja mjera stabilizacije. Provedbom dinamičke analize globalne stabilnosti usjeka, prikazanog na Slici 25., proizlazi faktor sigurnosti $F_s=1,428$, što je također zadovoljavajuće.



Slika 24. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka D - statička analiza ($F_s=1,954$)



Slika 25. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka D - dinamička analiza ($F_s=1,428$)

Dimenzioniranje sidara

Pri dimenzioniranju sidra u obzir se uzima najveća karakteristična uzdužna radna sila od 20 kN i najveća karakteristična poprečna radna sila od 15 kN dobivena lokalnom analizom. Proračunske sile u sidrima su: $N_{Ed}=50 \times 1,35 = 68$ kN i $V_{Ed}=15 \times 1,35 = 21$ kN.

Proračun nosivosti se provodi prema normi HRN EN 1993-1-1:2014 za svojstva čelika:

<u>Materijal</u>	<u>Geometrija</u>	<u>Parcijalni faktori sigurnosti</u>
$f_y = 478 \text{ N/mm}^2$	$D_0 = 25 \text{ mm}$	$\gamma_{M0} = 1,0$
$f_u = 637 \text{ N/mm}^2$	$D_i = 10,5 \text{ mm}$	
	$A = 341 \text{ mm}^2$	

Proračunom se dobiva otpornost poprečnog presjeka od 150 kN na uzdužnu, a 55 kN na poprečnu silu. Minimalna potrebna duljina sidrenja pri profilu bušenja $\varnothing 51\text{mm}$ i prionjivost smjese $\tau = 500 \text{ kN/mm}^2$ iznosi 0,65 m, odnosno 1,10 m nakon povećanja prema HRN EN 1998.5:2012 normi za dinamičko opterećenje.

Prema dobivenim proračunu, odabire se trajno samobušivo sidro vanjskog promjera $\varnothing 25$ mm, minimalne nosivosti $F_{yk}=150$ kN, duljine 4 m u prvom redu, a 3,0 m u drugom i trećem redu na rasteru od 3,0 x 3,0 m. Minimalni promjer bušotine iznosi $\varnothing 51$ mm

6. TEHNIČKI UVJETI IZVOĐENJA

Tehnički uvjeti izvođenja u skladu su sa već ranije spomenutim zakonima, propisima i normama u tablici 1. Uz to potrebno se pridržavati smjernica i uputa proizvođača materijala, iskustava dobivenih tokom izvođenja sličnih konstrukcija te principa i pravila struke tokom izvođenja.

6.1. PRIPREMNI RADOVI

Pripremni radovi obuhvaćaju:

- izradu plana rada
- obilazak lokacije,
- geodetske radove,
- organizaciju gradilišta za rad,
- osiguranje i označavanje gradilišta,
- radove na zaštiti kolosijeka
- radove na zaštiti elektroinstalacija

Nakon završenih pripremnih radova i pismenog odobrenja Nadzornog inženjera može se započeti s daljnjim radovima.

6.1.1. Plan rada

Kako bi se radovi odvijali potrebnom dinamikom, u skladu s projektom i tehničkim uvjetima potrebno je da izvođač radova izradi plan rada kojeg se pridržava tokom izvođenja.

Plan rada obuhvaća organizaciju i opremu gradilišta, dinamiku izvođenja radova, popis mehanizacije i tehničke karakteristike opreme, trase transporta i izvave o svojstvima proizvođača materijala koji se ugrađuju.

6.1.2. Obilazak lokacije

Obilazak predmetne lokacije sanacije potreban je iz razloga upoznavanja uvjeta na terenu i definiranje uređenja i kretanja po samom gradilištu čemu treba posvetiti naročitu pažnju.

6.1.3. Geodetski radovi

Prije samog početka radova potrebno je položajno i visinski iskolčiti relevantne lokacije iz projekta. Zahtijevana točnost iskolčenja i snimanja iznosi ± 2 cm.

Ako se prilikom izvođenja ustanovi nedostatak ili oštećenje pojedinih točaka potrebno je iste obnoviti.

Kontrola i ostvarenje kvalitete radova provodi se:

- iskolčenjem svih relevantnih podataka,
- kontrola visinskih kota,
- kontrola obračunatih količina radova.

6.1.4. Organizacija gradilišta

Prilikom organizacije gradilišta potrebno je odrediti odgovarajuća mjesta za privremeno deponiranje građevinskog materijala, omogućiti pristup mehanizaciji, opremi i materijalu izvedbom gradilišnih prometnih površina.

Potrebno je omogućiti pristup i kretanje po gradilištu kao i odvijanje rada na siguran način primjenom mjera i opreme.

6.1.5. Osiguranje gradilišta

Objekte smještene privremeno na gradilište potrebno je izvesti prema zakonskim zahtjevima za svrhu njihove namjene te na način da im je osigurana stabilnost.

Gradilište je potrebno označiti i ograničiti pristup neovlaštenim osobama kao što je propisano u propisima za zaštitu na radu.

6.2. PRIJEVOZ MATERIJALA

Potrebno je osigurati neometani dovoz svih potrebnih materijala (sidra, cement, agregat, zaštitne mreže, čelične sajle, i dr.) na gradilište kao i odvoz svog preostalog materijala i građevinskog otpada. Materijal se doprema cestovnim putem, a u slučaju kada je to nemoguće, materijal se doprema željezničkim putem. Potrebno je osigurati horizontalne i vertikalne transportne puteve unutar gradilišta za siguran i neometan rad.

6.3. UGRADNJA SUSTAVA ZA OSIGURANJE STABILNOSTI POKOSA

6.3.1. Osiguranje stabilnosti segmenta A zaštitnim mrežama za usmjeravanje odrona

Potrebna uzdužna nosivost zaštitne mreže iznosi 65 kN/m, a sve elemente potrebno je trajno zaštititi od korozije.

Prije ugradnje zaštitne mreže potrebno je područje ugradbe očistiti od vegetacije i potencijalno nestabilnih blokova i to u opsegu 4,0-5,0 m od zone gornjeg rubnog užeta, i bočnih rubnih užadi.

Nosivi paneli mreže međusobno se spajaju čeličnim spojnicama koje povezuju mrežu u jedinstvenu cjelinu. Postava mreže se vrši na način da se role mreže poslažu na vrhu uzduž zone zaštite, te se nakon fiksiranja odmotavaju prema dnu. Nakon spuštanja 3-4 role potrebno je mrežu povezati spojnicama sustava.

Zaleđe vrha usjeka pokriva se u širini 2,0 m. Prije iskolčenja prihvatnih sidara zaštitne mreže, potrebno je obići teren radi određivanja osi sidara. Ukoliko se na terenu utvrde vlačne pukotine ili dezintegrirane zone potrebno je izmjestiti os sidara.

Prihvatno sidro trajno je štapno sidro Ø32 mm, vlačne čvrstoće 500/550 N/mm², duljine 2,0 m, na razmaku od 3,0 m, a na dnu usjeka postavlja se trajno štapno sidro Ø25 mm, vlačne čvrstoće 500/550 N/mm², duljine 1,0 m, na razmaku od 3,0 m. Na vrhu mreže provlači se čelično uže promjera Ø12 mm, koje povezuje mrežu u jedinstvenu cjelinu. Mreža i užad zatežu se bočno i u kutovima kabelskim rubnim sidrima. Rubno bočno i donje uže promjera je Ø12 mm, vlačne čvrstoće 1770 N/mm². Užad i mreža fiksiraju se rubnim kabelskim sidrima Ø14,5 mm, vlačne čvrstoće 1770 N/mm², duljine 2 m.

U prilogu 1. prikazan je uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+370 do 72+420 km, a u Prilogu 2. prikazan je poprečni profil na stac. km 72+400.

6.3.2. Osiguranje stabilnosti segmenta B sistemom geotehničkih sidara i zaštitnom prednapregnutom mrežom

Postava zaštitne mreže na segmentu B jednakog je načina izvedbe kao i na segmentu A, razlika je u potrebnoj uzdužnoj nosivosti zaštitne mreže koja za segment B iznosi 150 kN/m.

Svi prihvatni elementi i užad segmenta B jednake su dužine, čvrstoće, promjera, duljine i rasporeda kao i na segmentu A.

Na segmentu B potrebno je ostvariti prijanjanje zaštitne mreže uz lice usjeka koje se ostvaruje pasivnim samobušivim sidrima promjera Ø32/21,0 mm, nosivosti 180 kN, maksimalne lomne sile 220 kN, projektne nosivosti: 125 kN, duljine 4,0 m u prvom redu, a 3,0 m u drugom i trećem redu. Nagib sidara je 10° u odnosu na horizontalu na rasteru od 3,0 x 3,0 m, minimalnog promjera bušotine 76 mm.

U prilogu 3. prikazan je uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+420 do 72+490 km, a u Prilogu 4. prikazan je poprečni profil na stac. km 72+460.

6.3.3. Osiguranje stabilnosti segmenta C zaštitnim mrežama za usmjeravanje odrona

Postava zaštitne mreže na segmentu C jednakog je načina izvedbe kao i na segmentu B, uključujući i potrebnu uzdužnu nosivost od 150 kN/m.

Svi prihvatni elementi i užad segmenta C jednake su dužine, čvrstoće, promjera, duljine i rasporeda kao i na segmentima A i B.

Na segmentu C potrebno je sanirati suhozid što se ostvaruje pasivnim samobušivim sidrima promjera Ø32/21,0 mm, nosivosti 180 kN, maksimalne lomne sile 220 kN, projektne nosivosti: 125 kN, duljine 4 m. Nagib sidara je 10°

u odnosu na horizontalu na rasteru od 2,0 x 2,0 m, minimalnog promjera bušotine 76 mm.

U prilogu 5. prikazan je uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+490 do 72+544 km, a u Prilogu 6. prikazan je poprečni profil na stac. km 72+490.

6.3.4. Osiguranje stabilnosti segmenta D sistemom geotehničkih sidara i zaštitnom prednapregnutom mrežom

Postava zaštitne mreže na segmentu D jednakog je načina izvedbe kao i na segmentu C, uključujući i potrebnu uzdužnu nosivost od 150 kN/m.

Svi prihvatni elementi i užad segmenta D jednake su dužine, čvrstoće, promjera, duljine i rasporeda kao i na segmentima A, B i C.

Na segmentu D potrebno je ostvariti prijanjanje zaštitne mreže uz lice usjeka koje se ostvaruje pasivnim samobušivim sidrima promjera Ø25/10,5 mm, nosivosti 150 kN, maksimalne lomne sile 200 kN, projektne nosivosti: 100 kN, duljine 4,0 m u prvom redu, a 3,0 m u drugom i trećem redu. Nagib sidara je 10° u odnosu na horizontalu na rasteru od 3,0 x 3,0 m, minimalnog promjera bušotine 51 mm.

U prilogu 7. prikazan je uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+544 do 72+590 km, a u Prilogu 8. prikazan je poprečni profil na stac. km 72+520.

6.4. GEOTEHNIČKA SIDRA

Sidra se ugrađuju u cilju postizanja stabilnosti stijenskih blokova, a predstavljaju vlačni i posmični element zaštite usjeka.

Vrste sidara koja se postavljaju na područje usjeka su:

- sidra za prihvat mreže u zaleđu i pri dnu usjeka
- sidra za osiguranje stabilnosti usjeka i
- sidra za fiksiranje rubnih bočnih užadi.

6.4.1. Zaštita od korozije

Ugrađena sidra projektirana su kao trajna konstrukcija koja zadržava svoju funkciju za čitavo vrijeme eksploatacije pa je stoga bitno da ne dođe do procesa korozije unutar vremena eksploatacije.

Uz pretpostavku da je injektiranje izvršeno ispravno i kvalitetno alkalna okolica mase za injektiranje osigurava zaštitu od korozije. Barijeru za zaštitu od korozije predstavlja betonski omotač minimalne debljine 100 mm.

Svi elementi sidra; sidrušna dionica i naglavni sklop moraju biti trajno zaštićeni protiv korozije jednom od metoda zaštite trajnih sidara. Vanjski sklop; podložna pločica i matica se nakon pritezanja sidara moraju dodatno tretirati sredstvom protiv korozije od Cinka.

6.4.2. Bušenje i injektiranje

Minimalni promjeri završnih profila bušotine korišteni za ugradnju vlačnih sidra su 51 mm i 76 mm. Bušotine su pod nagibom od 10° u odnosu na horizontalu. Dubina bušenja je 40 cm dublja od duljine vlačnog elementa sidra.

Injektiranje bušotine injekcijskom smjesom klase čvrstoće C 25/30 izvršava se nakon završetka ugradnje vlačnog elementa sidra. Matica sidra priteže se nakon što je injekcijska smjesa postigla 70% propisane čvrstoće.

Sidra se smještaju u zone udubina/depresija, a time se povećava normalna sila/trenje po kontaktu mreže i zasjeka, reducira se sidrima nepridržavana površina i umanjuje kinetičku energiju bloka koji bi se eventualno odlomio ispod mreže. Udubine su važan element, pa ih je ukoliko ne postoje potrebno izraditi. Ukoliko se podložna pločica ne utisne u stijenu i ne prednapregne zaštitnu mrežu osnovna konstruktivna pretpostavka ovakvog sistema nije zadovoljena, stoga je potrebno vršiti kontrolu pri ugradnji.

Sidra je potrebno ugraditi tako da se ne pojave oštećenja na okolnim sidrima, a to se postiže na način da se susjedno sidro ugrađuje u periodu kada injekcijska smjesa prethodnog sidra još nije postigla punu čvrstoću.

Injektiranje sidra provodi se od dna bušotine prema vrhu, sve dok smjesa ne izađe na površinu zasjeka. Ukoliko se ustanovi da se injekcijska smjesa povukla, potrebno je sljedeći dan doinjektirati bušotinu. Tokom injektiranja potrebno je vršiti kontrolu pritiska injektiranja.

Za vrijeme injektiranja potrebno je opažanje okolnog terena kako bi se pravovremeno uočilo eventualno izbijanje smjese i da ne bi došlo do neželjenih poremećaja u tlu ili na okolnim objektima.

Injekcijska smjesa sastoji se od cementa, vode i dodatka. Za cement korišteni kod injektiranja potrebno je pribaviti potrebne ateste zbog zadovoljavanja uvjeta kvalitete.

Injektiranje se provodi smjesom čiji je orijentacioni sastav:

- cement klasa 45,
- dodatak za bubrenje,
- superplastifikator,
- odnos cement : voda – 1 : 0,44 bez superplastifikatora.

Točni sastav smjese određuje se u laboratoriju, a tokom rada potrebno je kontrolirati svojstva injekcijske smjese uzimanjem uzoraka na miješalici i na izlazu iz injektora.

6.4.3. Testiranje sidra

Kako bi se utvrdila stvarna nosivost štapnih sidara u različitim geološkim uvjetima potrebno je provesti ispitivanje sidra nakon ugradnje. Period nakon kojeg se sidra mogu ispitivati je 7 dana od ugradnje.

Test prikladnosti sidra je test u kojem se opterećenje na sidro povećava do 20% iznad proračunske radne sile, a provodi se na 2% ukupno ugrađenih sidara..

Pokusna opterećenja za test prikladnosti P_p za pojedine segmente su:

- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1. Segment B stac km 72+420 – 72+490: | $P_p=146 \text{ kN}$ |
| 2. Segment C – Suhozid: | $P_p=150 \text{ kN}$ |
| 3. Segment D stac. km 75+544 – 72+605 | $P_p=82 \text{ kN}$ |

Test prihvatljivosti sidra je test u kojem se sidro opterećuje do proračunske radne sile, a provodi se na 20% od ukupno ugrađenih sidara

. Pokusna opterećenja za test sukladnosti P_p za pojedine segmente su:

- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1. Segment B stac km 72+420 – 72+490: | $P_p=122 \text{ kN}$ |
| 2. Segment C – Suhozid: | $P_p=125 \text{ kN}$ |
| 3. Segment D stac. km 75+544 – 72+605 | $P_p=68 \text{ kN}$ |

Oprema za ispitivanje koja se koristi prilikom testiranja sastoji se od specijalne hidrauličke preše minimalnog kapaciteta 500kN, hidrauličke pumpe, mjernih instrumenata (manometri i dinamometri) i mikro ure učvršćene na nepomičnoj podlozi pomoću koje se očitavaju pomaci u smjeru sidra. Svi mjerni instrumenti trebaju biti umjereni i baždareni.

6.5. ZAVRŠNI RADOVI

Nakon završetka radova predviđenih projektom, okoliš je potrebno dovesti u prvobitno stanje. Potrebno je ukloniti cjelokupnu opremu, privremene objekte i preostali materijal sa gradilišta te isplanirati i zazeleniti radovima zahvaćene pokose i površine. Sa time se osigurava zadovoljavanje ekološkog aspekta te se smanjuje osjećaj devastacije okoliša.

7. PROIZVOĐAČI SUSTAVA ZAŠTITE

Tvrtke na europskom tržištu koje proizvode zaštitne sustave vrste kao što je potrebno ugraditi tokom sanacije stijenskog pokosa opisanog u ovom diplomskom radu su Švicarska tvrtka Geobrug AG i Talijanska tvrtka Maccaferri.

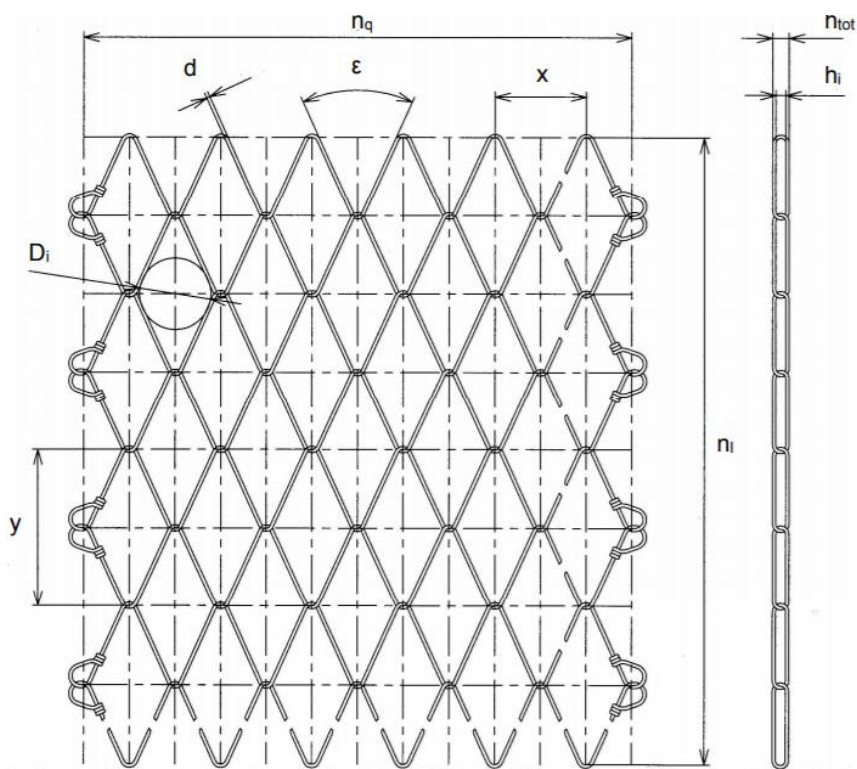
Oba proizvođača proizvode sustave zaštite koji su u skladu sa zahtijevanim parametrima čvrstoće, opisanim u poglavlju 6.3. ovog diplomskog rada.

7.1. GEOBRUGG SUSTAV ZAŠTITE

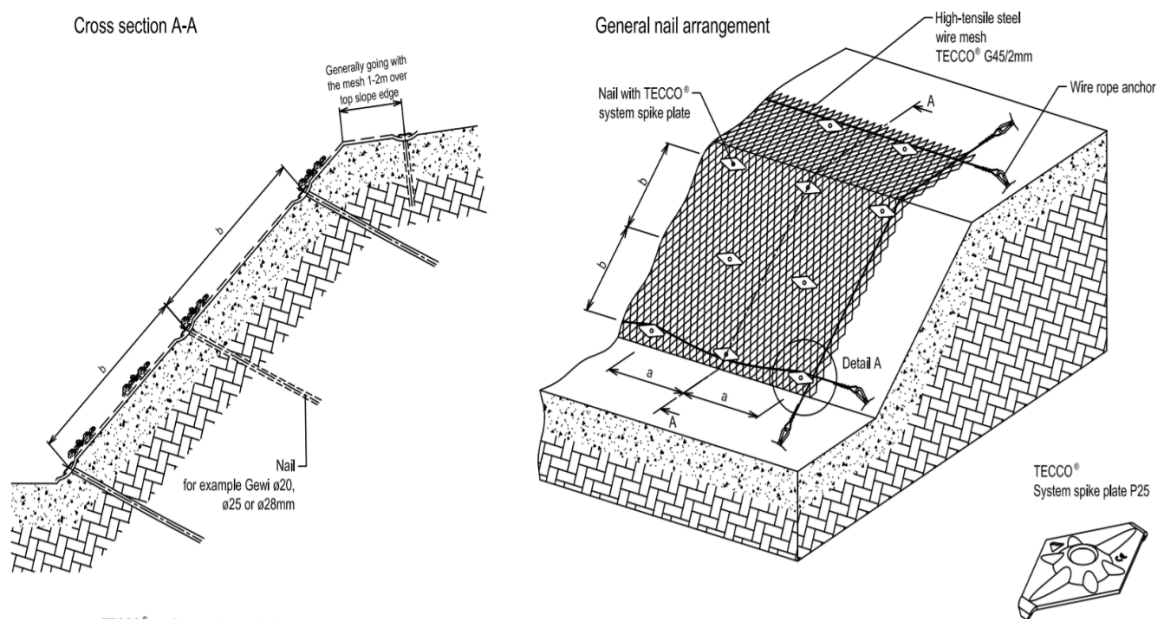
Zaštitni sustav Tecco® G45/2 tvrtke Geobrugg AG zadovoljava tražene parametre čvrstoće opisane u poglavlju 6.3. Tecco® G45/2 je sustav zaštite koji se sačinjen od jedinstvene cjeline, odnosno mreže, prikazano na Slici 26., koja preuzima sva opterećenja prilikom odrona stijene.

Sustav zaštitne mreže odlikuje se visokom čvrstoćom, što omogućuje prednapinjanje mreže. Ujedno omjer čvrstoće i težine čini sustav jednostavnim za transport i omogućuje jednostavniju ugradnju. Čvorovi na krajevima mreže osiguravaju stabilnost i na rubovima mreže, što uklanja potrebu za preklapanjem i omogućuje lako i samostalno odmotavanje svake role mreže pojedinačno. Patentirani načini zaštite od korozije omogućuju visoku trajnost, a ujedno manju potrebu za održavanjem [7].

Na Slici 27. prikazana je shema načina postave i pričvršćivanja mreže za pokos.



Slika 26. Prikaz zaštitne mreže Geobrugg Tecco® G45/2



Slika 27. Prikaz sheme postave mreže Geobrugg Tecco® G45/2

7.2. MACCAFERRI SUSTAV ZAŠTITE

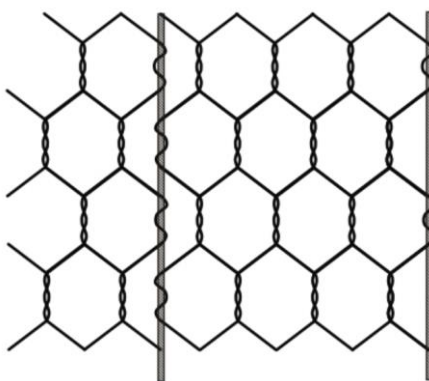
Zaštitni sustav Steelgrid® HR tvrtke Maccaferri zadovoljava tražene parametre čvrstoće opisane u poglavlju 6.3. Steelgrid® HR je sustav zaštite sačinjen od patentirane kompozitne cjeline čeličnih žičanih mreža i čelične užadi, prikazano na Slici 28., koje preuzimaju opterećenje prilikom odrona stijene.

Steelgrid® HR sustav se koristi zajedno s sidrenim pločama, posebnim U-vijcima i mrežnim spojnicama. Sustav nudi veliku čvrstoću, odnosno visoku vlačnu čvrstoću i visoku otpornost na udarce. Dostupan je u različitim čvrstoćama, što omogućuje projektiranje optimalnih tehničkih i ekonomskih rješenja [8].

Proizvod je dostupan u dvije razine otpornosti na koroziju:

- mreže i užad pocinčani sa patentiranom legurom GalMac® (Zn / Al) klase A,
- dodatna kontinuirana presvlaka od PVC-a za primjenu u agresivnim sredinama.

Na Slici 29. prikazan je primjer pokosa saniranog Steelgrid® HR sustavom.



Slika 28. Prikaz spajanja čelične mreže sa čeličnom užadi - Steelgrid® HR

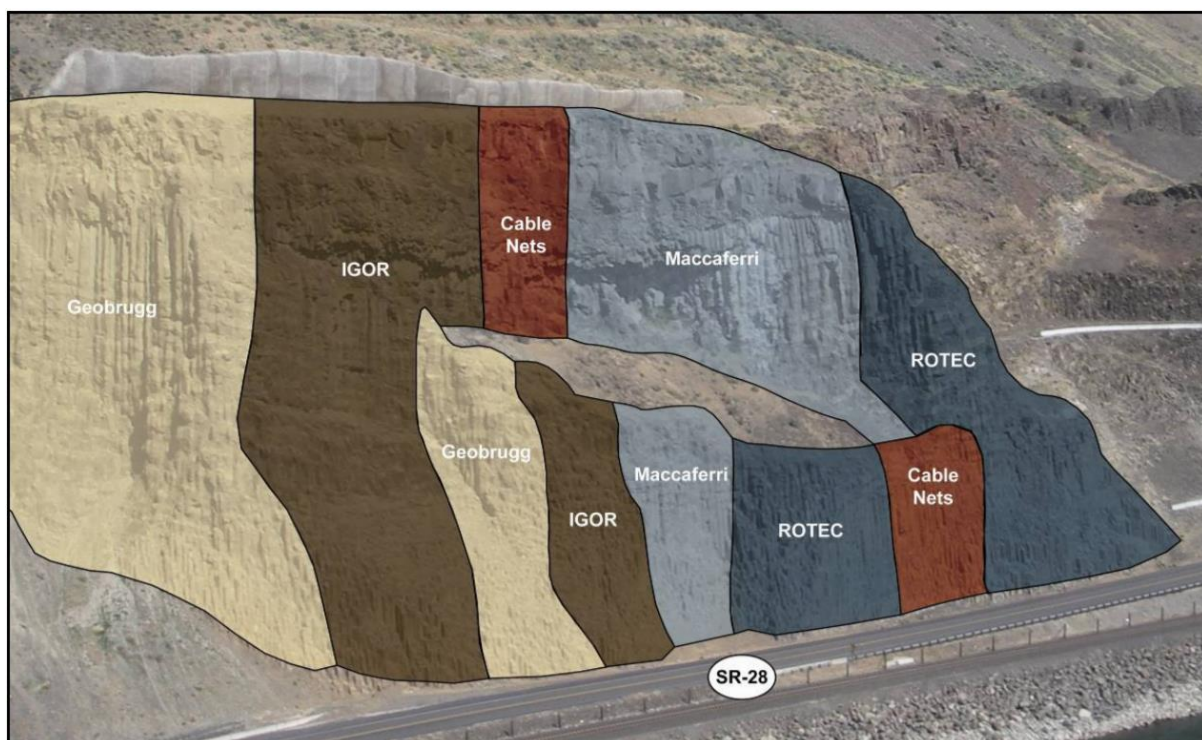


Slika 29. Primjer pokosa saniranog Steelgrid® HR sustavom

7.3. KOMBINACIJA SUSTAVA ZAŠTITE

Oba sustava zaštite mogu se primjenjivati i primjenjuju se širom Svijeta kao sustavi zaštite od odrona stijena.

Primjer uporabe oba sustava vidljiv je na sanaciji stijenskog pokosa u Sjedinjenim Američkim Državama, gdje je od strane Washington State Department of Transportation korišteno kombinirano rješenje više sustava, Slika 30. Osim Geobrugg i Maccaferri sustava korišteni su i IGOR i ROTEC sustavi. Svaki sustav ima svoje prednosti i mane te ga se koristi u svrhu za koju najviše odgovara [9].



Slika 30. Sanacija stijenskog pokosa kombiniranim sustavom zaštite

8. ZAKLJUČAK

Nepredvidivi odroni stijena predstavljaju ozbiljnu prijetnju za odvijanje i sigurnost željezničkog prometa. Posebice je to učestalija pojava kod naglih i ekstremnih vremenskih promjena u brdskim područjima Republike Hrvatske. Usjeci i zasjeci u stijenskoj masi često su različitog sastava, stanja stabilnosti i stupnja istrošenosti te na takav način predstavljaju značajnu opasnost od odrona.

Na dionici željezničke pruge M604 Oštarije – Knin opaženo je da postoji opasnost od odrona stijena pa se pristupilo sanaciji stijenskog pokosa. Provedeni istražni radovi dali su podlogu pomoću koje je bilo moguće projektiranje sanacijskog rješenja. Područje zahvata podijeljeno je na segmente: *A*, *B*, *C* i *D*. Spomenuti segmenti međusobno se značajno razlikuju prema relevantnim karakteristikama te je za svakog pojedinačno dano odgovarajuće tehničko rješenje. Provedbom analiza globalne stabilnosti te analize potencijalnih lokalnih nestabilnosti došlo se do zaključka da postoji stalna mogućnost odrona stijena. Potencijalni vremenski uvjetovani odroni rješavaju se zaštitnim mrežama za usmjeravanje odrona, dok se osiguravanje nestabilnih blokova vrši primjenom nosivih mreža i pasivnih geotehničkih sidara.

Generalno, zaštita stijenskih pokosa predstavlja složenu tehničku zadaću, u čije rješavanje moraju biti uključeni inženjeri različitih struka (geodeti, geolozi, geofizičari, hidrogeolozi, geotehničari, elektroinženjeri i dr.)

Tokom izvođenja radova potrebno je omogućiti nesmetano odvijanje željezničkog prometa na dionici pruge, što je moguće jedino detaljnim planiranjem odvijanja radova. Tako pripremni radovi imaju važnu ulogu pri ostvarivanju traženog zahtjeva. Raspored i lokacija sustava zaštite koji se ugrađuje unutar segmenta ovisi o proračunski dobivenim vrijednostima.

Projektirano sanacijsko rješenje moguće je ostvariti s različitim proizvođačima sustava zaštite. Na europskom tržištu postoje dvije tvrtke koje proizvode zaštitne sustave zahtijevanih karakteristika, a to su Geobrugg AG i Maccaferri. Odgovarajući proizvod tvrtke Geobrugg je Tecco® G45/2 sa mrežom u obliku jedinstvene cjeline, dok je odgovarajući proizvod tvrtke Maccaferri Steelgrid® HR kompozit sačinjen od mreže i užadi. Svaka od njih nudi tehnički ispravno i

prihvatljivo rješenje. Projektant se može odlučiti za primjenu nekog od navedenih sustava. Drugi je pristup propisati tehničke zahtjeve za ostvarenje statične (vlačna čvrstoća) i uporabne (zaštite od korozije) funkcionalnosti zaštitnog sklopa. U konkretnom slučaju prikazanog rješenja zaštite stijenskog pokosa odabran je Geobrugg sustav.

POPIS LITERATURE

- [1] N. Posedi, *Inženjerskogeološki modeli klizišta Sovinjak i Žudetić (Istarska županija)*, Diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2015
- [2] A. Bakrač, B. Božić, Inženjersko geološka istraživanja za potrebe gradnje i održavanje tunela, 2013, pp. -386
- [3] B. Kovačević-Zelić, D. Kovačić, S. Vujec, Numeričko modeliranje diskontinuiranog stijenskog materijala u elastičnom području, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 1995, str. 37-43
- [4] I. Dobrilović, V. Gulam, P. Hrženjak, Primjena indeksnih metoda ispitivanja u određivanju mehaničkih značajki intaktnog stijenskog materijala, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 2010, str. 63-71
- [5] Ž. Arbanas, Projektiranje u stijenskim masama, Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, 2008
- [6] T. Težak, Geostatička interpretacija rezultata mjerenja refrakcijskih brzina, Diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin, 2016
- [7] Internet stranica: Geobrugg AG – Tecco®
url: <https://www.geobrugg.com/en/TECCO-100958,7859.html>
datum pristupa: 30.8.2018.
- [8] Internet stranica: Maccaferri - Steelgrid® HR
url: <https://www.maccaferri.com/products/rockfall-steelgrids/steelgrid-hr-system/>
datum pristupa: 30.8.2018.
- [9] T. C. Badger, M. Fish, S. Lowell, T. Allen, Use of Ring Nets for Slope Protection for Rockfall: End-of-Construction Report, Washington State Department of Transportation, 2009

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz lokacije predmetne dionice pruge u odnosu na područje RH

Slika 2. Topografski prikaz dijela dionice željezničke pruge Oštarije – Knin

Slika 3. Primjer Schmiftovog konturnog dijagrama

Slika 4. Prikaz dijela usjeka A – srac. km 72+370 – 72+420

Slika 5. Prikaz dijela usjeka B – stac. km 72+420 – 72+490

Slika 6. Prikaz dijela usjeka C – stac. km 72+490 – 72+544

Slika 7. Prikaz dijela usjeka D – stac. km 72+544 – 72+590

Slika 8. Dezintegrirana zona nestabilnih stijenskih blokova

Slika 9. Isječak karte Republike Hrvatske sa srednjim vrijednostima akceleracije

Slika 10. Grafički prikaz modela ravnog slooma bez sidara ($F_s=0,45$)

Slika 11. Grafički prikaz modela ravnog sloma sa sidrima ($F_s=1,65$)

Slika 12. Grafički prikaz modela klina SP2-SP3 unutar strukturnog bloka B bez sidara ($F_s=0,66$)

Slika 13. Grafički prikaz modela klina SP2-SP3 unutar strukturnog bloka B sa sidrima ($F_s=1,68$)

Slika 14. Grafički prikaz modela klina SP3-SP4 unutar strukturnog bloka B bez sidara ($F_s=1,35$)

Slika 15. Stereografska projekcija setova diskontinuiteta za analizu direktnog prevrtanja za strukturni blok B

Slika 16. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka B - statička analiza – ($F_s=3,107$)

Slika 17. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka B - dinamička analiza – ($F_s=1,262$)

Slika 18. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka C bez sidara ($F_s=0,00$)

Slika 19. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka C - statička analiza ($F_s=3,702$)

Slika 20. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka C - dinamička analiza ($F_s=1,262$)

Slika 21. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka D bez sidara ($F_s=1,42$)

Slika 22. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka D bez sidara ($F_s=0,66$)

Slika 23. Grafički prikaz modela klina unutar strukturnog bloka D sa sidrima ($F_s=1,68$)

Slika 24. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka D - statička analiza ($F_s=1,954$)

Slika 25. Grafički prikaz modela usjeka strukturnog bloka D - dinamička analiza ($F_s=1,428$)

Slika 26. Prikaz zaštitne mreže Geobrugg Tecco® G45/2 [7]

Slika 27. Prikaz sheme postave mreže Geobrugg Tecco® G45/2 [7]

Slika 28. Prikaz spajanja čelične mreže sa čeličnom užadi - Steelgrid® HR [8]

Slika 29. Primjer pokosa saniranog Steelgrid® HR sustavom [8]

Slika 30. Sanacija stijenskog pokosa kombiniranim sustavom zaštite [9]

POPIS TABLICA

Tablica 1. Zakoni, Pravilnici, Propisi i Norme uvaženi tokom projektiranja i izvođenja

Tablica 2. Ulazni parametri za proračun globalne stabilnosti usjeka

Tablica 3. Ulazni parametri za proračun globalne stabilnosti usjeka

Tablica 4. Kombinacija mogućih slomova dobivenih analizom setova diskontinuiteta

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+370 do 72+420 km

Prilog 2. Poprečni profil na stac. km 72+400.

Prilog 3. Uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+420 do 72+490 km

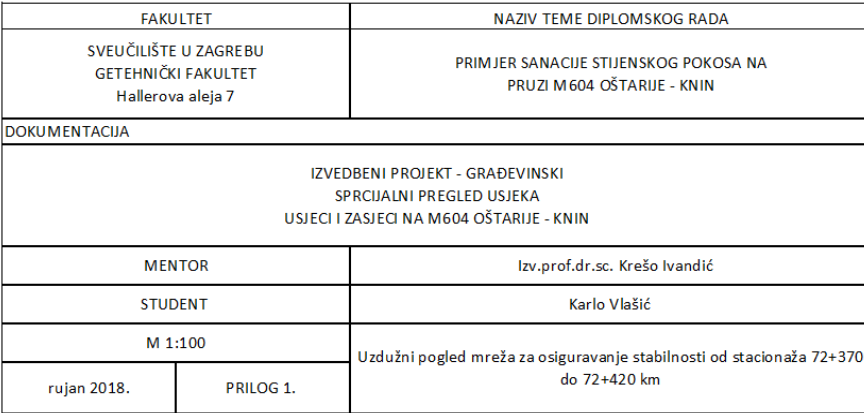
Prilog 4. Poprečni profil na stac. km 72+460

Prilog 5. Uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+490 do 72+544 km

Prilog 6. Poprečni profil na stac. km 72+490

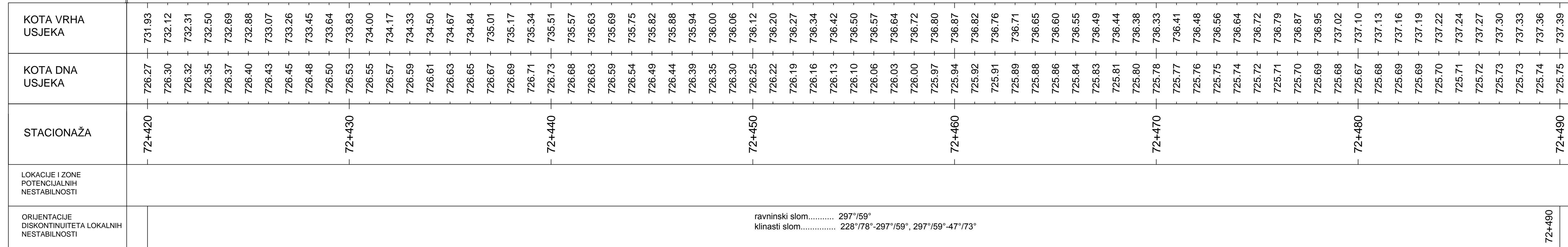
Prilog 7. Uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+544 do 72+590 km

Prilog 8. Poprečni profil na stac. km 72+550



MJERILO
1:100/100

[m.n.m.]



FAKULTET		NAZIV TEME DIPLOMSKOG RADA	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GETEHNIIČKI FAKULTET Hallerova aleja 7		PRIMJER SANACIJE STIJENSKOG POKOSA NA PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN	
DOKUMENTACIJA			
IZVEŠENI PROJEKT - GRAĐEVINSKI SPRČIJALNI PREGLED USJEKA USJEKI I ZASJECI NA M604 OŠTARIJE - KNIN			
MENTOR		Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivačić	
STUDENT		Karlo Vlašić	
M 1:100		Uzdudnji pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od staciona 72+420 do 72+490 KM	
rujan 2018.	PRILOG 3.		

OPIS SISTEMA

ZAŠTITNA MREŽA ZA USMJERAVANJE ODRONA:

- minimalna vlačna čvrstoća mreže (uzdužno): Zm = 150 kN/m'

GEOTEHNIČKA SAMOBUŠIVA SIDRA (za sanaciju suhozida):

- promjer sidra : Ø32/21.0 mm
- minimalna vlačna nosivost : Fyk = 180 kN

RUBNO ČELIČNO UZE Ø12,
 $f_{tk} = 1700 \text{ MPa}$

RUBNO ŠAPNO SIDRO
Ø32, $f_t/f_c = 500/550 \text{ N/mm}^2$
L = 2.0 m, R_s = 3.00 m

SAMOBUŠIVA SIDRA, L=4.00 m
S65 733.00 S66 S67
2x2.00 m = 4.00 m
SAMOBUŠIVA SIDRA, L=4.00 m
S68 S69 731.00 S70 S71
3x2.00 m = 6.00 m
SAMOBUŠIVA SIDRA, L=4.00 m
S72 729.00 S73 S74
2x2.00 m = 4.00 m
SAMOBUŠIVA SIDRA, L=4.00 m
S75 S76 727.00 S77 S78
3x2.00 m = 6.00 m

Vrh usjeka

Linija terena 2 m udaljena od vrha usjeka

Dno usjeka

SUHOZID

RUBNO ČELIČNO UZE Ø12,
 $f_{tk} = 1700 \text{ MPa}$

RUBNO ŠAPNO SIDRO
Ø25, $f_t/f_c = 500/550 \text{ N/mm}^2$
L = 1.0 m, R_s = 3.00 m

[m.n.m.]

KOTA VRHA USJEKA	737.39	737.00	736.61	736.21	735.82	735.43	735.04	734.65	734.25	733.86	733.47	733.57	733.67	733.77	733.87	733.97	734.07	734.17	734.27	734.37	734.47	734.76	735.05	735.34	735.63	735.92	736.20	736.49	736.78	737.07	737.36	736.95	736.54	736.14	735.73	735.32	734.91	734.50	734.10	733.69	733.28	733.63	733.98	734.33	734.68	735.02	735.37	735.72	736.07	736.42	736.77	736.65	736.52	736.40	736.28	
KOTA DNA USJEKA	725.75	725.73	725.71	725.69	725.67	725.65	725.63	725.61	725.59	725.57	725.55	725.53	725.52	725.50	725.49	725.47	725.45	725.44	725.42	725.41	725.39	725.37	725.35	725.33	725.31	725.28	725.26	725.24	725.22	725.20	725.18	725.17	725.16	725.16	725.15	725.14	725.13	725.12	725.12	725.11	725.10	725.10	725.11	725.11	725.11	725.12	725.12	725.12	725.12	725.13	725.13	725.13	725.12	725.12	725.11	
STACIONAŽA	72+490										72+500									72+510										72+520											72+530										72+540					
LOKACIJE I ZONE POTENCIJALNIH NESTABILNOSTI															72+505	Odlamanje i ospipavanje kršja i blokova vapnenca. Visina: 5 - 7 m Dimenzije blokova: 9,0×6,0×5,0 dm (0,27 m³, 0,73 t)																																								
ORIJENTACIJE DISKONTINUITETA LOKALNIH NESTABILNOSTI		klinasti slom..... 154°/77°-260°/58°																																												72+544										

FAKULTET		NAZIV TEME DIPLOMSKOG RADA	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET Hallerova aleja 7		PRIMER SANACIJE STJENSKOG POKOSA NA PRUZI M604 OŠTARJE - KNIN	
DOKUMENTACIJA			
IZVEDBENI PROJEKT - GRAĐEVINSKI SPRICALNI PREGLED USJEKA USJECI I ZASJECI NA M604 OŠTARJE - KNIN			
MENTOR		Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivandić	
STUDENT		Karlo Vlašić	
M 1:100		Uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od stacionaža 72+490 do 72+544 km	
rujan 2018.	PRILOG 5.		

OPIS SISTEMA

- ZAŠTITNA PREDNAPREGNUTA MREŽA:**
 - minimalna vlačna čvrstoća mreže (uzdužno): $Z_m = 150 \text{ kN/m'}$
- GEOTEHNIČKA SAMOBUŠIVA SIDRA:**
 - promjer sidra : $\varnothing 25/10.5 \text{ mm}$
 - minimalna vlačna nosivost : $F_{yk} = 150 \text{ kN}$

RUBNO ŠTAJNO SIDRO
 $\varnothing 32, f_y/f_t = 500/550 \text{ N/mm}^2$
 $L = 2.0 \text{ m}, R_s = 3.00 \text{ m}$

RUBNO ČELIČNO UŽE $\varnothing 12,$
 $f_{tk} = 1700 \text{ MPa}$

SAMOBUŠIVA SIDRA, $L=3.00 \text{ m}$

VRH USJEKA

LINIJA TERENA 2 m UDALJENA OD VRHA USJEKA

DNO USJEKA

RUBNO ČELIČNO UŽE $\varnothing 12,$
 $f_{tk} = 1700 \text{ MPa}$

RUBNO ŠTAJNO SIDRO
 $\varnothing 25, f_y/f_t = 500/550 \text{ N/mm}^2$
 $L = 1.0 \text{ m}, R_s = 3.00 \text{ m}$

Dimensions shown:
 $4 \times 3.00 \text{ m} = 12.00 \text{ m}$
 $7 \times 3.00 \text{ m} = 21.00 \text{ m}$
 $12 \times 3.00 \text{ m} = 36.00 \text{ m}$

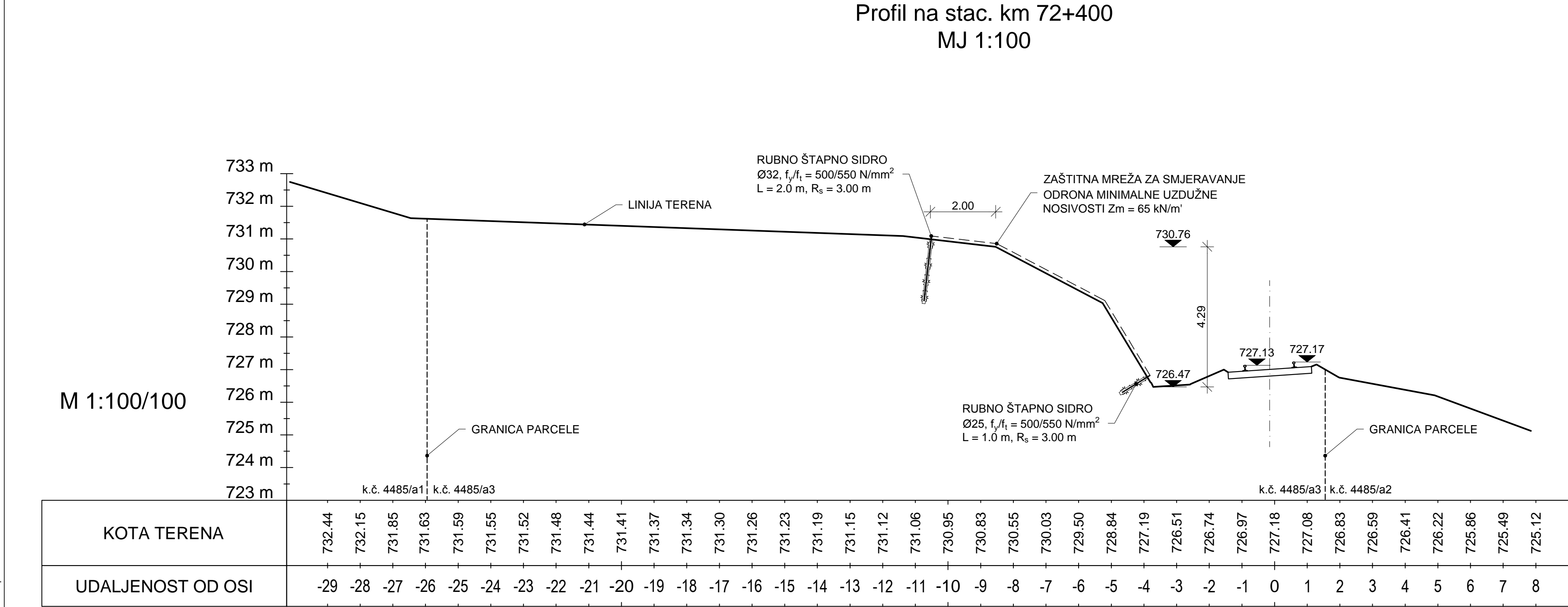
Elevation points: S79, S80, S81, S82, S83, S84, S85, S86, S87, S88, S89, S90, S91, S92, S93, S94, S95, S96, S97, S98, S99, S100, S101, S102, S103, S104.

[m.n.m.]

klinasti slom..... $201^{\circ}/69^{\circ}$ - $259^{\circ}/66^{\circ}$, $201^{\circ}/69^{\circ}$ - $326^{\circ}/67^{\circ}$, $259^{\circ}/66^{\circ}$ - $326^{\circ}/67^{\circ}$

FAKULTET		NAZIV TEME DIPLOMSKOG RADA	
SVEUČIŠTE U ZAGREBU GETEHOVIĆI FAKULTET Halleraeva aleja 7		PRIMJER SANACIJE STIJENSKOG POKOSA NA PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN	
DOKUMENTACIJA			
		IZVEDBENI PROJEKT - GRAĐEVINARSTVO SPRČIALNI PREGLED USJEKA USJEKI I ZASIEG NA M604 OŠTARIJE - KNIN	
MENTOR		Izv.prof.dr.sc. Krešo Iviandić	
STUDENT		Karlo Vlačić	
M 1:100			
rujan 2018.	PRILOG 7.	Uzdužni pogled mreža za osiguravanje stabilnosti od staciona 72+544 do 72+590 km	

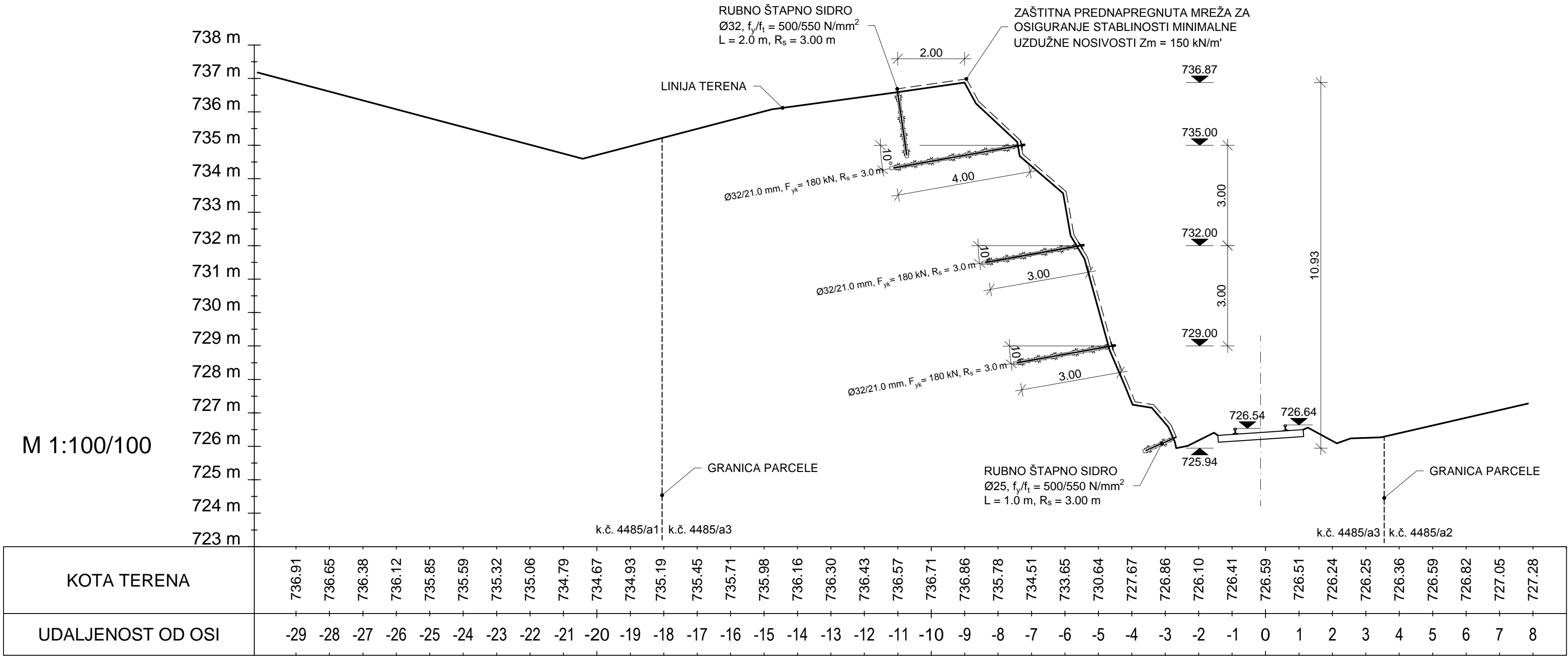
Elektroprojekt d.d. - pridržava sva neprenesena prava



Elektroprojekt d.d. - pridržava sva neprenesena prava

Ovo je CAD nacrt i ne smije se ispravljati ručno

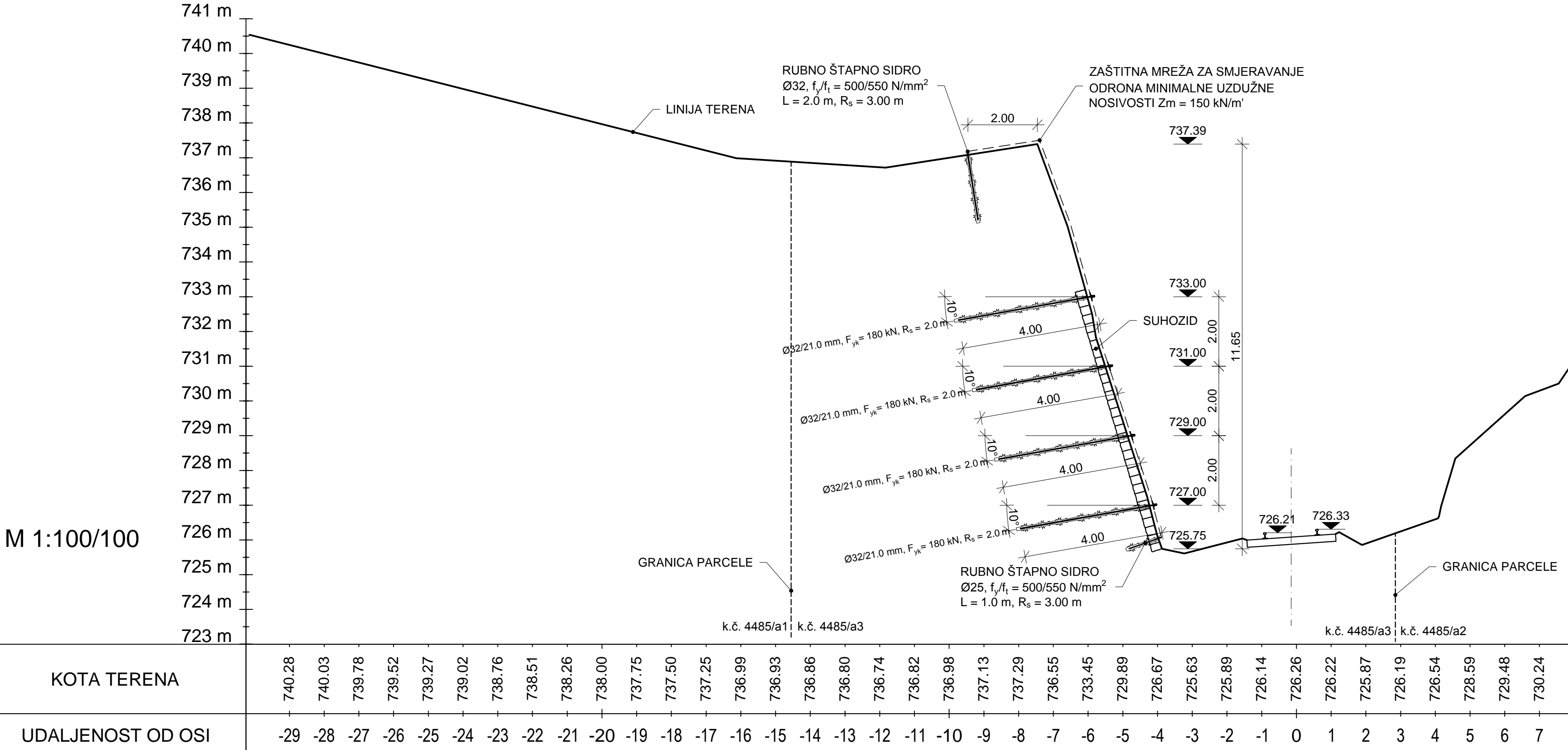
Profil na stac. km 72+460
MJ 1:100



FAKULTET		NAZIV TEME DIPLOMSKOG RADA	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GETEHNIČKI FAKULTET Hallerova aleja 7		PRIMJER SANACIJE STUJENSKOG POKOSA NA PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN	
DOKUMENTACIJA			
IZVEDBENI PROJEKT - GRAĐEVINSKI SPRČIJALNI PREGLED USJEKA USJECI I ZASJECI NA M604 OŠTARIJE - KNIN			
MENTOR		Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivandić	
STUDENT		Karlo Vlašić	
M 1:100		Poprečni profil na stac. km 72+460	
rujan 2018.	PRILOG 4.		

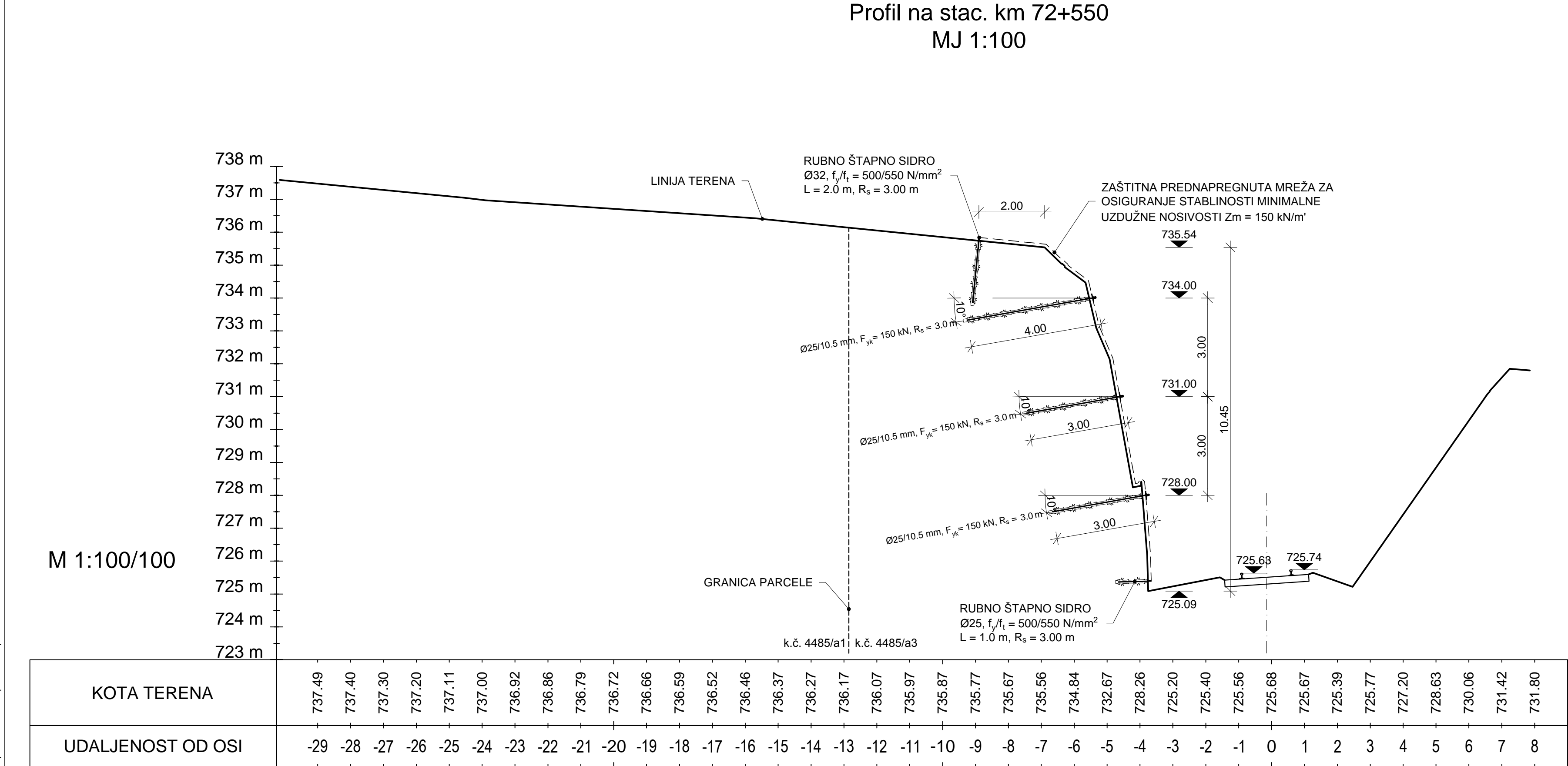
Profil na stac. km 72+490

MJ 1:100



FAKULTET		NAZIV TEME DIPLOMSKOG RADA	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GETEHNIIČKI FAKULTET Halleroва aleja 7		PRIMJER SANACIJE STIJENSKOG POKOŠA NA PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN	
DOKUMENTACIJA			
IZVEDBENI PROJEKT - GRAĐEVINSKI SPRČIJALNI PREGLED USJEKA USJECI I ZASJECI NA M604 OŠTARIJE - KNIN			
MENTOR		Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivađić	
STUDENT		Karlo Vlašić	
M 1:100		Poprečni profil na stac. km 72+490	
rujan 2018.	PRILOG 6.		

Elektroprojekt d.d. - pridržava sva neprenesena prava



FAKULTET		NAZIV TEME DIPLOMSKOG RADA	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GETEHNIČKI FAKULTET Hallerova aleja 7		PRIMJER SANACIJE STUJENSKOG POKOSA NA PRUZI M604 OŠTARIJE - KNIN	
DOKUMENTACIJA			
IZVEDBENI PROJEKT - GRAĐEVINSKI SPRČIJALNI PREGLED USJEKA USJECI I ZASJECI NA M604 OŠTARIJE - KNIN			
MENTOR		Izv.prof.dr.sc. Krešo Ivandić	
STUDENT		Karlo Vlašić	
M 1:100		Poprečni profil na stac. km 72+550	
rujan 2018.	PRILOG 8.		